

AGUAS SUBTERRANEAS

Conocimiento y Explotación

Ing. Norberto O. Bellino

Instituto de Ingeniería Sanitaria

Facultad de Ingeniería

Universidad de Buenos Aires

2012

norbertobellino@gmail.com

El presente trabajo sigue la exposición de las clases dictadas en el Instituto de Ingeniería Sanitaria de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires en el Curso de Especialización en Ingeniería Sanitaria

Aguas Subterráneas

Conocimiento y Explotación

INDICE

PARTE I

1.1 Características del Curso.

1.2 Importancia de las aguas subterráneas.

1.3 Usos y usuarios.

1.4 Breves referencias históricas.

1.5 Ventajas de las aguas subterráneas.

1.6 Desventajas de las aguas subterráneas.

1.7 Química del agua subterránea.

2. PARTE II

2.1 Dinámica de las aguas subterráneas.

2.2 Diseño de pozos para extracción de agua.

3. PARTE III

3.1 Métodos constructivos.

3.2 Máquinas de perforar.

3.3 Materiales empleados en la construcción de pozos.

3.4 Ensayo de pozos.

3.5 Aspectos constructivos mas significativos.

3.6 Desarrollo y terminación de pozos.

3.7 Exploración de aguas subterráneas.

4. PARTE IV

4.1 Preservación de pozos.

4.2 Protección sanitaria de pozos.

4.3 Preservación del recurso. Explotación racional.

4.4 Equipos de bombeo empleados en perforaciones.

4.5 Especificaciones Técnicas para construir un pozo.

ANEXOS

1 Glosario.

2 Valores de la función de pozo

3 Bibliografía

PARTE I

1.1 Características del Curso

- ✓ **Es para ingenieros y profesionales, no especialistas**
- ✓ **Se remarca la importancia de las aguas subterráneas**
- ✓ **Se dará respuesta a preguntas tales como:**

Cuando se encarga la construcción de un pozo de agua:

- **Que exigir como usuario o director de obra?**
- **Como controlar la construcción?**
- **Como operar y mantener la captación después?**

Los ejes del desarrollo del curso son los aspectos:

1. **Sanitario**
2. **Ambiental**
3. **Económico**

El curso ha sido pensado para ingenieros y profesionales en general no especializados en el conocimiento o la extracción de aguas subterráneas. Quienes conozcan estos temas de antemano o hayan trabajado activamente en ellos, no encontrarán novedades o nuevos conceptos.

Por el contrario aspiramos a que aquellos profesionales que deben, en algún momento de su desempeño laboral, encargar la construcción de un pozo para extracción de agua, posean el nivel de conocimiento indispensable para establecer las especificaciones técnicas de la captación y las condiciones que debe cumplir la empresa constructora que tendrá a su cargo la ejecución de las obras y posteriormente poder verificar las etapas de la construcción de las mismas, efectuar los ensayos de recepción de los trabajos terminados, controlar el

funcionamiento y realizar las tareas de mantenimiento necesarias para una explotación racional de la captación y asegurar su vida útil.

Finalmente y no menos importante como veremos oportunamente para la preservación del recurso, cuando se termine la vida útil de la perforación o se decida abandonar por cualquier motivo su explotación, se deberán adoptar las medidas necesarias para evitar situaciones peligrosas para las personas y el medio ambiente. Dejar de emplear una captación no significa olvidarse de la misma.

Nos asiste la idea de que con estos apuntes se puedan releer las explicaciones dadas en clase y sirvan en el futuro para consultas rápidas, en la certeza que siempre será conveniente para profundizar los conceptos recurrir a la bibliografía que más adelante se detalla.

El Apunte se ha organizado colocando, al principio de cada asunto a tratar, la correspondiente diapositiva que se exhibe durante la explicación en el curso a fin de facilitar su seguimiento por parte de los asistentes. Aquellos lectores no asistentes al curso, encontrarán entonces que en la explicación que sigue a la diapositiva se repiten, aunque con mayor extensión, los conceptos que figuran en la misma.

Como primera parte enfatizaremos la importancia de las aguas subterráneas frecuentemente ignoradas no sólo en la formación curricular profesional, sino que lamentablemente por muchos urbanistas y funcionarios que adoptan entonces decisiones estratégicas equivocadas durante la gestión de los recursos hídricos de una región. En ocasiones se da por descontado que existe el agua subterránea en cantidad y calidad adecuadas, sin pensar en confirmar previamente tal suposición con los estudios adecuados.

Este tipo de actitudes a dado lugar a monumentales errores en la concepción de muchos emprendimientos y en ocasiones también a generado serios problemas en las áreas circundantes, las que al iniciarse la explotación generada por el nuevo proyecto, han visto afectada su propia provisión de agua a partir de la fuente subterránea.

La importancia que tiene la fuente viene dada por una serie de ventajas entre las cuales se destacan su presencia casi universal y el hecho de que la inmensa mayoría de los recursos de agua disponibles en el mundo se encuentran bajo la forma de agua subterránea.

Las respuestas a las preguntas efectuadas más arriba tienden a establecer el conocimiento indispensable que se mencionaba antes.

Por último los ejes sobre los cuales se va a desarrollar el curso tienen que ver con los aspectos que hacen a la ingeniería sanitaria: en primer lugar la preservación de la salud humana, en segundo término la preservación del medio ambiente del cual las aguas subterráneas forman parte y por último el aspecto económico: la solución por la que optemos debe ser necesariamente posible en términos económicos de lo contrario lo más probable en que no se ejecute.

Un ejemplo tal vez ayude aquí a poner en evidencia que las decisiones juegan alrededor de estos tres aspectos y como, debemos encontrar la mejor solución aunque no sea la óptima en cada uno de estos sentidos:

"Se decide la construcción de la red de agua a cierta comunidad que no la posee y como alternativas para suministrar agua a la misma se encuentra que puede hacerse desde unos pocos pozos locales adecuadamente construidos y posibles de mantener bajo control o bien construir una planta potabilizadora que tome agua de un río a varios kilómetros de distancia y tender un acueducto hasta la población. En el primer caso se explotará una capa de agua subterránea que posee un exceso de nitratos y por otro lado la segunda alternativa no es viable económicamente al requerir una inversión que no está disponible.

La primera solución es económicamente posible de ejecutar de inmediato pero implica tener agua con exceso de nitratos que no la hace apta para los lactantes, niños menores de 3 años y para otras personas susceptibles a los nitratos. La segunda solución por el contrario suministraría agua potable para todos, pero implica poseer recursos para disponer de los cuales se deben esperar varios años.

La presencia de exceso de nitratos hace pensar en que no se debe construir las captaciones de agua subterránea porque se estaría distribuyendo agua no potable. Sin embargo se advierte que la población, librada a su propia suerte, busca agua de fuentes alternativas de calidad no controlada y a menudo contaminada bacteriológicamente. Es decir que desde el punto de vista sanitario se tiene una solución contradictoria. Consultados los médicos del lugar indican que son muy graves y frecuentes las infecciones intestinales en esa población por ingerir agua contaminada bacteriológicamente y explican que éstas pueden afectar a toda la población con efectos nocivos muy rápidos provocando sufrimiento, enfermedad y

en ocasiones extremas la muerte, ausentismo laboral y alta carga en las internaciones hospitalarias. Por el contrario los nitratos afectan sólo a ciertas personas las cuales pueden ser identificadas y alertadas y a las que, tratándose de una cantidad relativamente menor, puede abastecerse para la ingesta con agua embotellada de origen controlado.

Los planificadores deciden entonces construir la red y suministrar el agua con pozos, con el argumento de que es preferible para la población contar con agua aunque posea exceso de nitratos, antes que no poseer el servicio, adoptando la precaución de informar a la población y poner a disposición agua enteramente potable para la población bajo riesgo.

Se pone en práctica la solución y con el transcurso de los años se reúnen los fondos necesarios para construir la planta potabilizadora y el acueducto. Pero entonces surge un nuevo problema, la zona afectada por la traza del acueducto es un ecosistema frágil y las organizaciones ambientalistas locales se oponen a cualquier intervención en el mismo. Dado que indefectiblemente el acueducto debe atravesar la zona ambientalmente protegida: ¿cuál debe ser la decisión? ."

Este ejemplo si bien es ficticio, no está alejado de la realidad y muestra como puede ocurrir que intereses legítimos, entren en colisión y deben ser los técnicos los que deben avalar, con argumentos sólidos la decisión final de los administradores.

<u>Acción del ingeniero</u>

En los asuntos vinculados al Medio Ambiente en general y a las Aguas Subterráneas en particular, el ingeniero de cualquier especialidad y lugar de trabajo tiene un amplio campo de acción que ocupar. No es necesario ser un experto para advertir la necesidad de actuar dentro del marco del cuidado ambiental reconociendo las limitaciones que esto impone a la hora de desenvolverse en la tarea profesional.

En primer término podrá conocer y difundir los problemas y contribuir a su análisis y solución, en el ámbito de su actividad cotidiana.

En segundo lugar actuar frente a las autoridades locales del municipio o estado provincial para que establezcan mecanismos de control efectivo de las instalaciones que puedan afectar al medio ambiente en particular las de captación

de agua subterránea. En especial deberá asesorar a los funcionarios de los diferentes niveles gubernamentales, asesoramiento que podrá extenderse a las cada vez más activas asociaciones de consumidores y usuarios que requieren conocimientos específicos para defender sus derechos.

El profesional de la ingeniería deberá además tomar conciencia de la importancia del saneamiento en la construcción de viviendas, industrias, plantas de producción de energía, explotaciones agrícolas y mineras, etc. etc., aplicando y haciendo aplicar en todo momento sus conocimientos o recurriendo a los de otros profesionales especialistas.

Es asimismo importante que exija que todas y cada una de las instalaciones que puedan afectar el medio ambiente en cualquiera de sus componentes, sean proyectadas y construidas conforme a las normas y reglamentaciones aplicables, solicitando en todos los casos la intervención de profesionales competentes en la materia, sin desdeñar la experiencia pero reconociendo y haciendo reconocer que son los profesionales idóneos, los ingenieros en particular, quienes sabrán enunciar los problemas y formular las soluciones más adecuadas para cada caso.

Es evidente que muchos de estos asuntos presentan aspectos que son interdisciplinarios, pero hay cuestiones que implican decisiones que no pueden quedar en manos de profesionales de disciplinas ajenas al ámbito técnico – científico o de políticos sin adecuado asesoramiento o peor aún mal asesorados grupos con intereses económicos que no siempre tienen en cuenta el interés general.

Como puede apreciarse entonces, hay un papel determinante e indelegable que el ingeniero debe cumplir en los aspectos vinculados con el saneamiento básico y en particular a la explotación de las aguas subterráneas, independientemente de si lo ejerce como proyectista o director de obras, representante del usuario o de empresas constructoras o desde ya como especialista convocado para aplicar sus conocimientos en la mejora y extensión de servicios que, como los sanitarios, contribuyen tan sustancialmente a la calidad de vida de todos los habitantes de una región.

1.1 Características del Curso

Proyectar, construir y explotar una captación de agua subterránea requiere de <u>artesanía</u> y de <u>tecnología</u>. Se requiere de la artesanía para el éxito, pero vamos a procurar darnos cuenta de que es además posible:

- ❑ Explorar la presencia de aguas subterráneas
- ❑ Proyectar la obra de captación
- ❑ Construir la obra de captación
- ❑ Explotar la extracción
- ❑ Verificar el impacto sobre el entorno

Todo ello es posible con la técnica, respetando al artesano que construye.

5

1.1 Características del Curso

- El artesano conoce los detalles de su tarea íntimamente, ha trabajado y la técnica constructiva le resulta familiar.
- Sin embargo a menudo no es capaz de transmitir con claridad las razones de su proceder y en ocasiones esta actitud puede llegar al ocultamiento de la verdadera situación al propietario o al profesional que tiene a su cargo la contratación y el control de los trabajos.
- Debemos en consecuencia en primer lugar saber y en segundo término elegir bien a la hora de contratar.
- Una manera de seleccionar un buen contratista es estableciendo bases y condiciones claras a la hora de solicitar la cotización o presupuesto de los trabajos.

El constructor de pozos avezado y consciente es un verdadero artesano, capaz de interpretar las necesidades de la parte contratante y ejecutar la tarea encomendada obteniendo en la amplia mayoría de las veces los resultados esperados.

Su capacidad se manifiesta habitualmente en dos sentidos: por una parte conoce las características del subsuelo y por la otra maneja las técnicas constructivas necesarias.
Un buena relación entre comitente y contratista es esencial para arribar a resultados satisfactorios para ambas partes y el ingeniero como responsable final de las obras debe mantener un justo equilibrio entre los distintos intereses siendo el conocimiento de lo que sucede durante la construcción de una captación fundamental a la hora de tomar decisiones o sacar conclusiones acerca de los resultados o de problemas que se puedan presentar.
Una adecuada base de discusión en desde siempre un contrato previo claro que contenga las principales especificaciones técnicas y comerciales y las respectivas obligaciones y responsabilidades de las partes.
El otro aspecto esencial es la selección de un contratista con experiencia y buenas referencias comprobables.

Estas son las bases para que se obtengan los resultados esperados por todos.

Antes de abandonar este tema, creemos necesario rescatar y destacar la figura del perforista, perforador, pocero o como quiera llamárselo. Pocos oficios son tan duros: permanentemente a la intemperie con todos los climas, se aprende en general trabajando y lleva años dominar la técnica y ni que hablar del conocimiento del subsuelo e incluso con los modernos equipos las tareas son pesadas y en ocasiones riesgosas.

Su oficio empero es esencial y podemos decir, sacando de contexto las palabras del poeta (*) que son perfectamente aplicables al perforista aquello de:

“buscando entre dormidos minerales napas de luz para la sed del mundo”.

(*) Roberto Themis Speroni, “El Molino”, 1959. La cita, tomada del libro “Historias de las aguadas y el molino” de Noel H.Sbarra – Editorial EUDEBA, 1973, se refiere estrictamente al molino de extracción de agua.

1.2 Importancia de las aguas subterráneas

"Las aguas subterráneas (la parte de todos los recursos hídricos que se encuentra por debajo de la superficie de la tierra) representan más del noventa y cinco por ciento de las reservas mundiales de agua dulce. Dadas sus ingentes reservas y su amplia distribución geográfica, su buena calidad en general y su resistencia ante las fluctuaciones estacionales y la contaminación, las aguas subterráneas representan una garantía de que la población mundial actual y futura contará con un abastecimiento de agua asequible y seguro. Las aguas subterráneas son predominantemente un recurso renovable que, cuando se gestiona adecuadamente, garantiza un abastecimiento a largo plazo que contribuya a atender las crecientes demandas y a mitigar los impactos del cambio climático previsto. En términos generales, el desarrollo de las aguas subterráneas requiere una inversión de capital menor que el desarrollo de las aguas superficiales y se puede poner en práctica en un plazo de tiempo más corto."

*De la **Declaración de Alicante** agenda de acción resultado de los debates celebrados en el marco del **Simposio Internacional para el Uso Sostenible de las Aguas Subterráneas** (**ISGWAS**) que tuvo lugar en Alicante, España, los días 23-27 enero del 2006.*

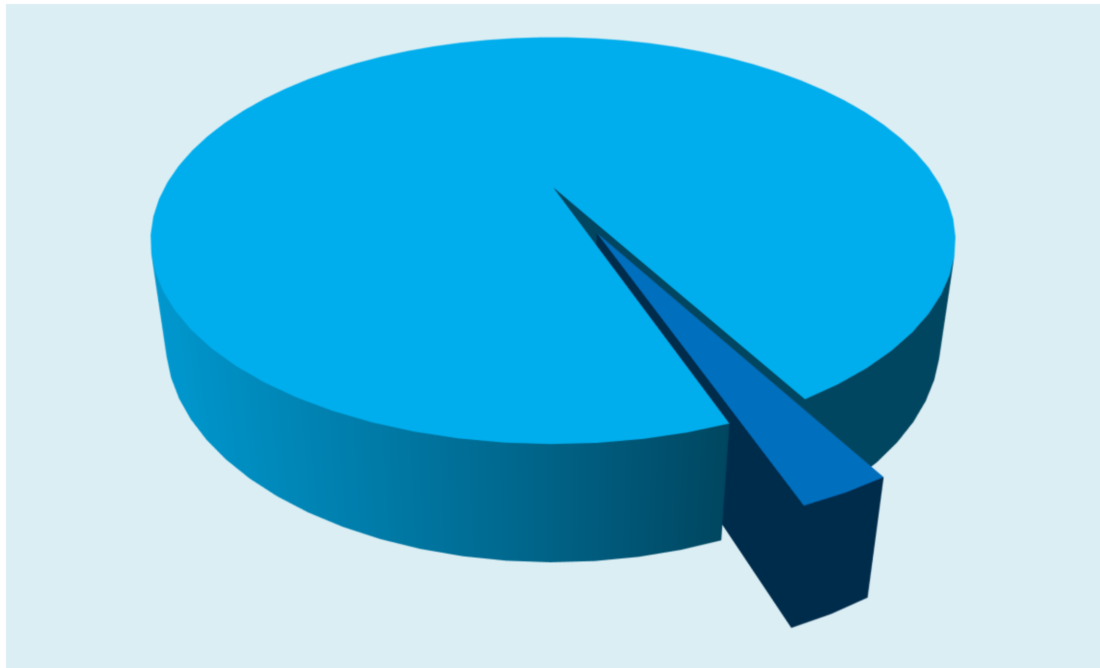
"Las aguas subterráneas constituyen la mayor reserva de agua dulce del mundo, y representan más del 97% del total de agua dulce disponible en el planeta, excluyendo los glaciares y los casquetes polares. El 3% restante corresponde esencialmente a las aguas superficiales -lagos, ríos, humedales- y a la humedad del suelo. Hasta fechas recientes, la atención dirigida hacia las aguas subterráneas se centraba, por un lado, en su uso como agua potable -alrededor del 75% de los residentes de la Unión Europea (UE) dependen de las aguas subterráneas para el abastecimiento de agua potable-, y por otro, en el reconocimiento de su importancia como recurso para la industria -por ej., el agua de refrigeración- y para la agricultura de regadío. No obstante, cada vez es más obvio que no debe considerarse a las aguas subterráneas únicamente como una reserva de agua, sino que deben protegerse también por su valor medioambiental. Las aguas subterráneas son fundamentales para el ciclo hidrológico, y su papel es básico para el mantenimiento de los humedales y de los caudales de los ríos, y como amortiguador de los efectos de las sequías. Es decir, las aguas subterráneas aportan el flujo básico -el agua que nutre a los ríos durante todo el año- a los sistemas de aguas superficiales, muchos de los cuales sirven para el abastecimiento de agua y para usos recreativos. En muchos de los ríos de Europa, más del 50% del flujo anual procede del agua subterránea..."

Tomado de la "Introducción" del documento "Protección de las aguas subterráneas en Europa" LA NUEVA DIRECTIVA SOBRE LAS AGUAS SUBTERRANEAS – CONSOLIDACIÓN DEL MARCO NORMATIVO DE LA UE - COMISIÓN EUROPEA 2008 http://bookshop.eu/

El subrayado es nuestro.

Importancia de las aguas subterráneas

Volumen total de agua en la Tierra 1360 millones de Km^3



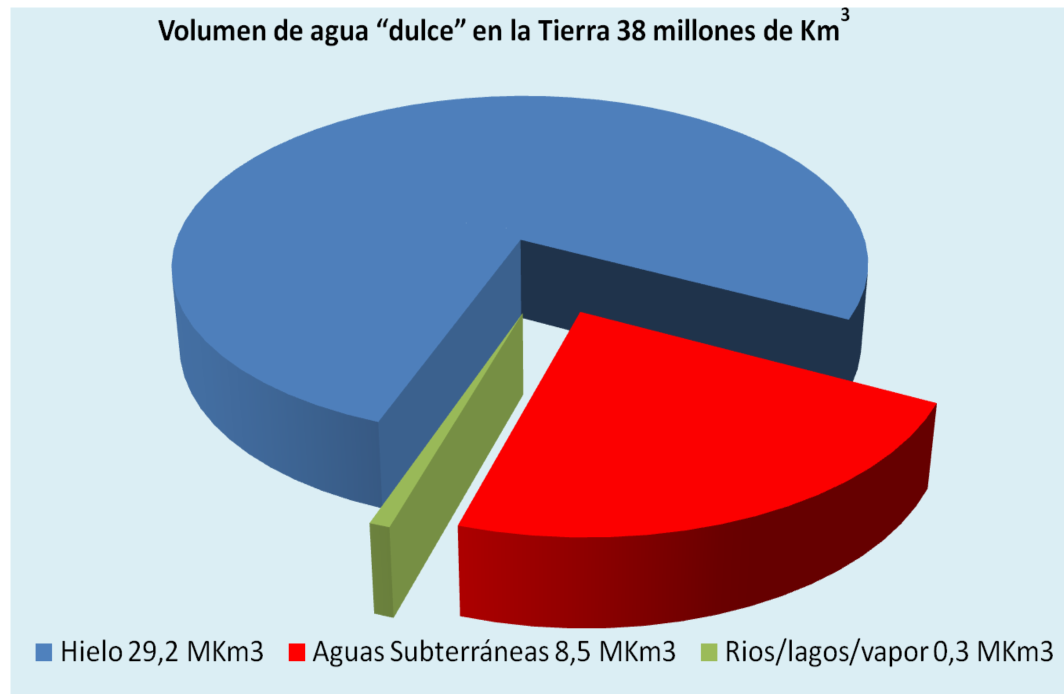
agua de mar 1322 MKm3 agua "dulce"38 MKm3

El total de agua existente en la Tierra es prácticamente constante y la inmensa mayoría de ella se encuentra en los mares y océanos (97%) el resto es la considerada como agua dulce (3%) pese a que contiene un cierto tenor de sales en disolución (excepto el agua atmosférica).

Si analizamos ahora la fracción de agua dulce nos encontramos que casi el 77% de la misma se encuentra como hielo en los casquetes polares y en los glaciares. El fenómeno del calentamiento global pese que derrite este hielo no ayuda porque la mayor parte del agua va a parar al mar.

Nos queda entonces poco más del 0,6% de toda el agua de la Tierra como agua líquida que aquí hemos llamado disponible (8,8 Km3).

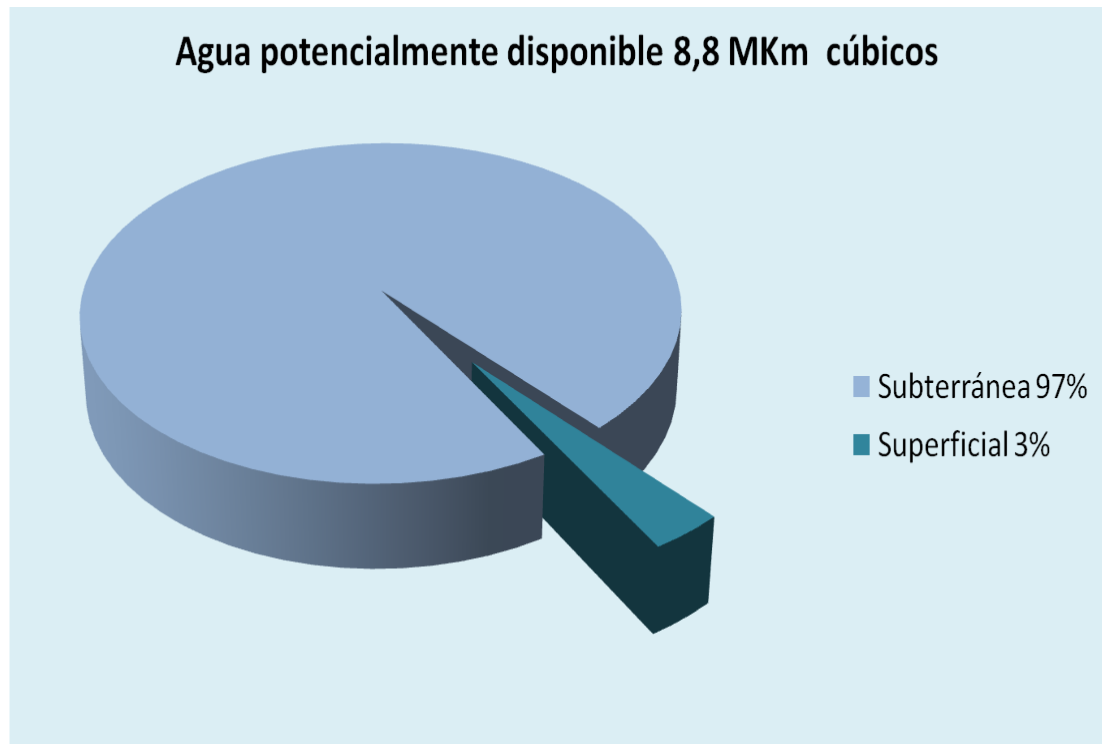
Importancia de las aguas subterráneas



Y si avanzamos todavía más vemos (si no nos asombra debería hacerlo) que el agua superficial de todos los ríos (incluido el Amazonas, el Orinoco, el Paraná y el de la Plata para nombrar a los más cercanos y por cierto muy caudalosos) y de todos los lagos del planeta, incluso contando el agua atmosférica, sólo constituye poco mas del 3% de toda esa agua disponible y que casi el 97% está bajo la forma de agua subterránea. Las aguas superficial y atmosférica son despreciables en este juego de cifras (menos del 0,022 % de toda el agua del planeta).

Para tener una idea de la magnitud de las aguas subterráneas baste un ejemplo: el acuífero Puelche (en Argentina) posee por si sólo una reserva estimada de agua capaz de abastecer con 200 L/dia a toda la población de la Argentina (tomando 36.000.000 hab) durante 50 años y ello considerando que sólo el 45% de sus reservas sean aptas para consumo (menor de 2 g/L de sólidos totales) y sin considerar además la recarga que sin duda tiene el acuífero y que es muy significativa. Estas aguas están a su vez distribuidas bajo la región mas densamente poblada del país, situación que facilita notoriamente el acceso a las mismas.

Importancia de las aguas subterráneas



Y sin embargo nuestra vida depende absolutamente de este volumen de agua. En la práctica se le asigna una importancia muy superior al 3% del agua disponible como agua superficial que al 97% restante que está bajo la forma de agua subterránea.

Trataremos de ahora en más de modificar esta valoración, teniendo presente como funciona el ciclo del agua y de que toda y siempre, el agua es la misma: salada, dulce, subterránea, hielo o agua superficial, que atraviesa una y otra vez la atmósfera, ocupa los cauces de agua y se intercambia en la masa y el cuerpo de los seres vivos incluyendo a los vegetales y a los animales y entre éstos por supuesto al del hombre.

1.3 USOS Y USUARIOS DEL AGUA DISPONIBLE

- **Agricultura y ganadería: 71%** (15% de la tierra explotada se riega y produce el 40% de los alimentos). 20-60% del agua empleada en el riego se pierde. 10% de las tierras irrigadas se atiende con aguas de desecho. 15.500 a 20.000 m^3 para producir 1 tn de carne vacuna y entre 1.500 y 3.000 m^3 para producir 1 tn de cereal.
- **Industria: 21%** (un pantalón de jean: 11 m^3)
- **Doméstico: 6%** En el mundo per cápita: 800 m^3/año.
  El 75% de la población europea dependen de las aguas subterráneas para el abastecimiento de agua potable.
- **Recreativo, calefacción, medicinal, etc.: 2%**
- **Evolución del consumo.**

12

Es evidente que el mayor consumo de agua dulce en el mundo se debe a la agricultura la cuál consume más del 70% de toda el agua empleada. Si se observa el cuadro se advierte que el riego aumenta notablemente el rendimiento de las cosechas y así el 15% de las tierras explotadas que se riega produce el 40% de los alimentos a nivel mundial. Se observa también que por evaporación, escurrimiento e infiltración se pierde una parte muy importante del agua empleada y ello se debe evidentemente a que se emplean métodos poco eficientes a la hora de aprovechar el agua. El problema adicional que aparece es que el agua que escurre hacia cuerpos superficiales de agua o se infiltra hasta alcanzar las capas subterráneas de agua, lo hace arrastrando los productos empleados como pesticidas o fertilizantes, contaminando severamente los recursos. Otro fenómeno asociado con los riegos agrícolas es la sobreexplotación de las capas subterráneas de agua de cuyos efectos hablaremos más adelante.
Los equipos de riego por aspersión de pivot central, tan frecuentes hoy en los campos agrícolas de muchas partes del mundo, consumen frecuentemente entre 150 y 300 m3/h.

La ganadería por su parte, si bien consume mucho menos, tiene el inconveniente del bajo rendimiento: hacen falta 20.000 litros de agua para producir 1 Kg de carne, mientras que bastan 1.500 litros para producir 1 Kg de cereal.

La industria es el otro importante “cliente” que consume como puede verse gran parte de los recursos y muy frecuentemente los mismos son subterráneos. El uso doméstico aparece recién en tercer término con un módico 6% (otras estimaciones hacen subir esta participación a un 8%) . La evolución del consumo provoca por otra parte un fuerte interrogante ya que en todos los órdenes aumenta el consumo, sea porque se incorporan más equipos de riego agrícola y aumenta el número de unidades producidas por la industria mas allá de que ésta refleja una creciente disminución en el consumo de agua por unidad producida en virtud de la mejora en la eficiencia de sus sistemas productivos.

Por su parte el consumo doméstico se incrementa por dos razones: el incremento de la población y el aumento en la dotación, consumo de agua por habitante y por día, en razón de mejoras en la calidad de vida de un creciente número de habitantes del planeta.

Las disparidades son por supuesto enormes y muchas comunidades pasan gran parte de su día en la búsqueda del agua cotidiana mientras en otras regiones las redes de distribución de agua pierden, por defectos y roturas, entre un 10% y un 60% del agua que se inyecta en las mismas.

Este ingente volumen de agua consumida por la humanidad es de unos 5.500 Km3 cada año, entendiendo por tal al hecho de que el agua es captada de su fuente original y devuelta al ciclo hidrológico natural, en general con su calidad anterior alterada y en muchos casos en tiempos diferentes. Así aquellas aguas que se incorporan a manufacturas o se infiltran de manera profunda en el subsuelo pueden tardar años en volver al ciclo mientras que otras, se evaporan o escurren más o menos inmediatamente después de ser empleadas por el hombre. Sin embargo la tasa de renovación de los acuíferos o napas subterráneas es en general muy baja y, como se verá más adelante, pueden tardar muchos años e incluso muchos miles de años en reponerse.

De este volumen empleado por el hombre gran parte es abastecido a partir de la fuente subterránea: en Argentina se estima que un 50% del consumo humano se satisface de esta manera. En Europa se asigna gran importancia al recurso, países

como Francia y Holanda poseen elevados estándares en su protección y satisfacen la mitad o más de los suministros domiciliarios con agua de ese origen, en tanto Alemania cubre las dos terceras partes de los mismos con agua subterránea.



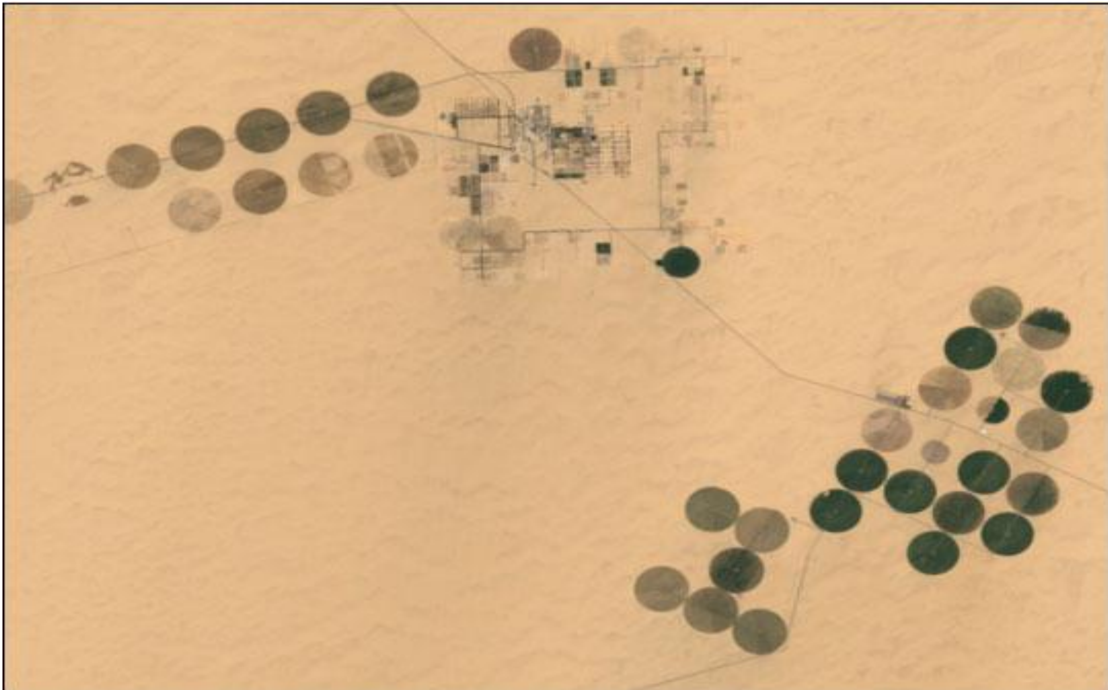
Equipo de riego por aspersión de pivot central en funcionamiento





Equipo de riego por aspersión de pivot central. Arriba: detalle del accionamiento de una de las torres. Abajo: vista aérea del área regada..

Riego por aspersión con equipos de pivot central en el desierto de Sahara



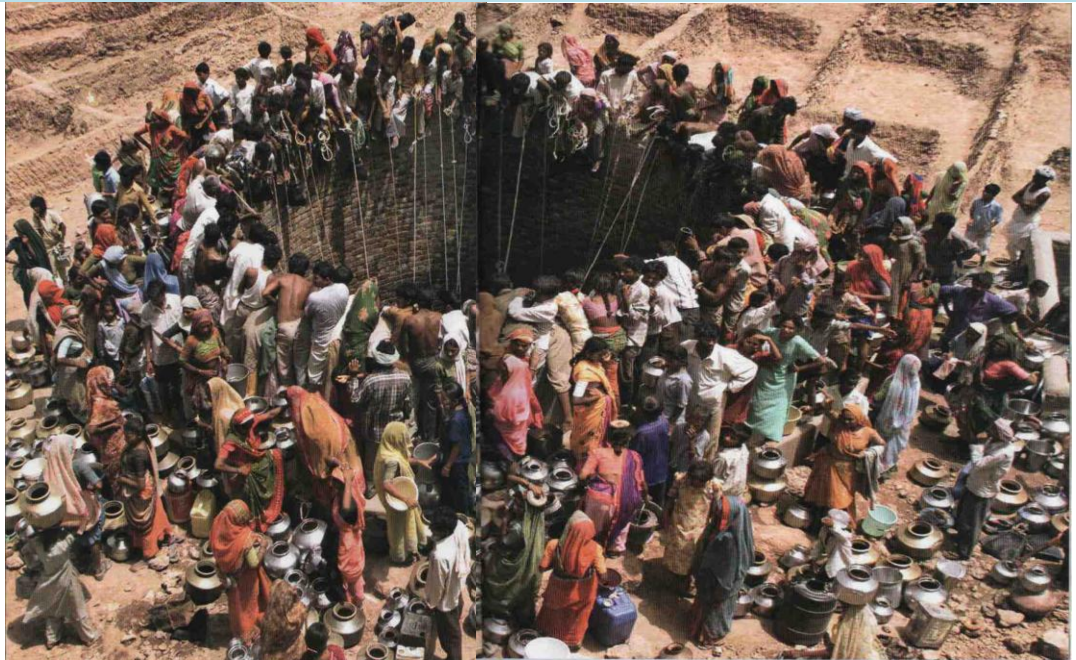


1.3 USOS Y USUARIOS

- Gestión del agua subterránea: en los ámbitos urbano y rural.
- Tecnología mas apropiada: según el uso del agua, su abundancia, energía disponible, costo de obtención y de potabilización.
- Tecnología amigable con el medio ambiente: obras pequeñas de baja intervención, no invasivas de la superficie, no alteran el curso de las aguas.

15

1.3 USOS Y USUARIOS

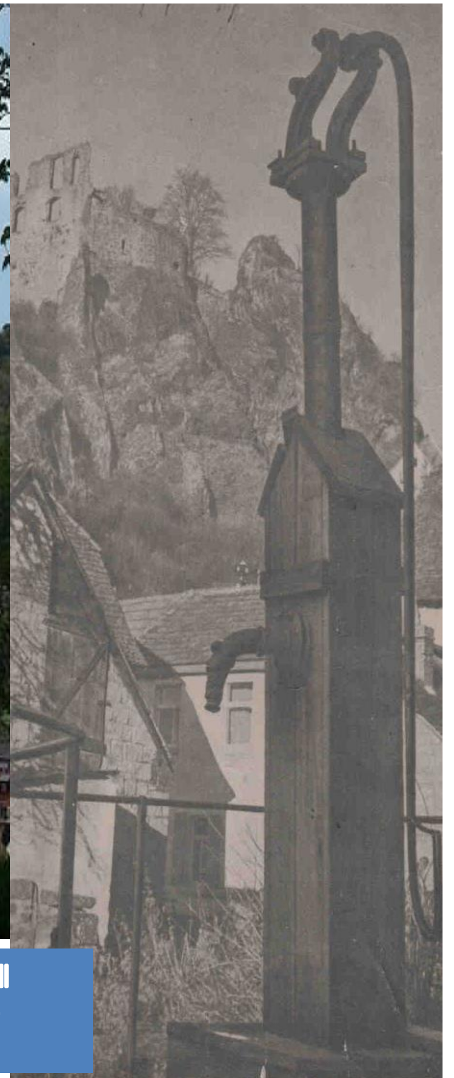


Decenas de personas alrededor de un pozo en Natwargadh, Gujarat, India. 200mm de lluvia al año y temperaturas que superan los 46 °C. Fotografía de National Geographic Brasil – Abril 2010.

16

1.4 Breves Referencias históricas





Bomba del siglo XVIII
Falkenstein – Pfalz - Alemania

19

1.4 Breves Referencias históricas

- Chinos y egipcios miles de años A.C. construyen perforaciones. Circa 2100 A.C. existe una referencia de 14 pozos construidos con un ejército de 3.000 hombres en Egipto.
- Pozo de José (*) en El Cairo, construido en roca sólida con un tramo superior de 50 m (sección 5,50 m x 7,3 m) y un tramo inferior de 40 m, profundidad total 90 m. El agua se elevaba mediante cubos con cadenas sinfín, las del tramo inferior impulsadas por burros dentro de una cámara en el interior del pozo.
- Pozo de Artois en el año 1126 en la Cartuja de Lilliers. Provincia de Francia, vecina a Flandes, sobre el Paso de Calais. Artesiano (confinado, con agua a mayor presión que la atmosférica).
- Pozo de Passy en París (1857) Ø71 cm entubado hasta 586 m. Caudal de 881 m3/h a 16,5 m sobre nivel de terreno. (surgente)
- Pozo de Barracas el Ing. Adolfo Sourdeaux en Buenos Aires Argentina (1854) primer pozo considerado artesiano en la Argentina.
- Pozo de Siena (Egipto, cerca de la primera catarata del Nilo): Eratóstenes, siglo III A.C. supo que en él el 21 de junio (solsticio de verano) el Sol se reflejaba en el fondo sobre el agua. Con ésta observación y otros datos calculó la circunferencia de la Tierra en 40.000 Km (la medida aceptada actualmente es para el Ecuador: 40.077 Km, error cometido: 0,2% !)

(*) No es el pozo bíblico, sino el construido por José Gran Visir que prestó servicio bajo el Sultán Otomano Mahmud hijo de Calaun o Qalaun.

1.5 Ventajas del agua subterránea

- Presencia universal
- Buena calidad natural
- Protección natural
- Accesibilidad
- Elevada inercia química

Presencia Universal y Buena Calidad Natural

- En la mayoría de los lugares hay agua potable o que a lo sumo requiere desinfección.
- El mecanismo de infiltración profunda de las aguas meteóricas es el principal responsable de esta característica.
- El contenido salino es variable con los sitios y el tiempo transcurrido desde la infiltración.
- En muchos sitios el agua subterránea posee temperatura, minerales y en general un contenido salino que la hace apetecible y saludable.
- El deterioro en la calidad natural ocurre a menudo por acción antrópica.

Protección Natural

- Por su ubicación a varios metros por debajo de la superficie
- A menudo protegida por estratos continuos de terreno de baja permeabilidad.
- La infiltración se efectúa en general muy lentamente, los movimientos son laminares.
- En la práctica se alumbra agua subterránea, en sitios en donde el suelo y las aguas superficiales están fuertemente contaminados, y aún así el agua subterránea resulta potable o de calidad aceptable para el uso deseado.

Accesibilidad

- Las aguas subterráneas están en casi todas partes.
- La limitación para su alumbramiento suele ser económica.
- Este concepto varía con el sitio y la oportunidad: lo que hoy es poco accesible económicamente hablando puede ser conveniente mañana.
- Necesidad de un menor número y complejidad de obras es igual a costos reducidos.
- La industria y la agricultura en el mundo, aprovechan el agua subterránea con un costo casi nulo.

Las ventajas más importantes que presenta el agua subterránea son:

1) Buena calidad natural.
2) La protección natural de que gozan.
3) Su presencia y disponibilidad.
4) Accesibilidad: necesidad de un menor número y complejidad en las obras para su obtención y empleo.
5) Elevada inercia química

Calidad natural:

El agua del subsuelo posee en la inmensa mayoría de los lugares una calidad que la hace naturalmente potable.

Ello es así por su propio origen debido a la infiltración, más o menos profunda de aguas de lluvia superficiales, a través de los diversos horizontes de terreno, en un proceso de filtración por gravedad, lento y casi ideal en la mayoría de los casos, que llega a retener desde ya todas las partículas en suspensión, eliminar turbiedades de tipo coloidal pero, además, a frenar la dispersión de bacterias en cortas distancias a partir del punto de inserción en el acuífero.

El contenido salino, variable con los sitios y la longevidad del agua en el acuífero, resulta en muchos casos apetecible, bastando decir que en extensas zonas, se extraen aguas que merecen la calificación de aptas para ser embotelladas como agua mineral, por parte de las autoridades competentes del área de bromatología que en cada caso corresponde y van a suplir en las mesas familiares al agua de red que, fuertemente clorada o portando residuos de cal, es rechazada por los usuarios para beberla como tal o preparar infusiones o comidas. Desde un punto de vista sanitario existe el concepto de que las aguas con un cierto tenor salino, particularmente de aquellas sales que confieren la llamada dureza del agua, son beneficiosas contribuyendo a disminuir las enfermedades cardíacas. Por otra parte es perfectamente conocida la importancia fundamental que tiene la presencia de sales, es decir minerales, en el agua que ingresa a los organismos vivos incluyendo claro está a los vegetales, no sólo como nutrientes

fundamentales sino con propiedades higiénicas, tal el caso del flúor que en muchas aguas del subsuelo se encuentra en las proporciones aconsejadas para prevenir las caries, sobre todo en la etapa de formación de las piezas dentales. Cabe advertir que en otros casos esta agua están excesivamente fluoradas lo cual ocasiona prejuicios (v.g.: dientes veteados).

Nos encontramos así que existen aguas subterráneas naturalmente potables, acotando que en muchos casos cuando ello no ocurre se debe a la desaprensiva acción del hombre, que a través de distintos mecanismos, provoca el deterioro del recurso, según se verá más adelante. Por otra parte y como una ventaja accesoria muy apreciada por quienes utilizan agua para distribuirla en sistemas públicos o en industrias adonde intervenga en procesos, el agua subterránea posee una calidad casi constante y si varía lo hace con gran lentitud; características éstas propias de la inercia química y las condiciones poco propicias que posee para la proliferación de bacterias o virus, una masa tan grande de agua en movimiento laminar a través de los estratos porosos que la albergan. Esta misma constancia se verifica para la temperatura, que es igual en cualquier estación del año.

Protección natural: íntimamente relacionado con el aspecto anterior, se encuentra el de la protección natural que gozan las aguas del subsuelo debida a su misma situación. En efecto, encontrándose habitualmente el agua a varios metros por debajo del nivel de la superficie y en muchos casos por debajo de estratos de terreno confinantes, continuos y de muy baja permeabilidad, y originándose la contaminación en aquella, adonde se desenvuelve la actividad humana, que tardar en avanzar, normalmente por los lentos procesos de difusión y filtración, de forma tal que aún en sitios donde el suelo y las aguas superficiales están fuertemente contaminados, es frecuente encontrar agua subterránea de buena calidad. Al hablar de este tema se menciona probablemente para ejemplificar con la elocuencia de los casos extremos más o menos ¿improbables?, como esta propiedad de las aguas subterráneas sería dramáticamente vital en el caso de una agresión radiactiva tal como la que sucedería por un escape en una central nuclear.. En esta contingencia las únicas aguas disponibles durante un tiempo prolongado serían las del subsuelo.

Presencia y disponibilidad: es ésta una verdadera bendición, poco apreciada pero notable. Las aguas subterráneas están en casi todas partes. Tal vez deberíamos decir en todas, porque no existe prácticamente sitio de la Tierra(*) donde debajo del suelo no haya agua, pero claro nos limitamos siempre a aquella que sea económicamente explotable, es decir a la que yace en un acuífero. Por cierto que a medida que los problemas de escasez y contaminación se agraven, se irán redefiniendo los conceptos y lo que hoy no es conveniente desde un punto de vista económico, puede serlo en un futuro no muy lejano. Tenemos entonces al agua subterránea debajo del suelo que pisamos y podemos en casi cualquier parte perforar y alumbrarla, es decir poseer en cada punto que deseemos una fuente de agua, sin construir largas conducciones ni complejas obras que ocupen espacio en la superficie. No hay duda que se trata de una propiedad interesante que debe ser apreciada en toda su importancia, toda vez que con la fuente alternativa, no sucede lo mismo: las aguas superficiales no se encuentran disponibles más que en determinados lugares y con las limitaciones mencionadas antes en cuanto a calidad, debiendo agregarse aquí las de cantidad y permanencia, dado que existen cursos de agua de bajo caudal o bien no permanentes por su directa dependencia de las precipitaciones. Cabe imaginarse entonces que por debajo del lugar en donde estamos cada uno de nosotros en este momento, hay agua embebiendo el terreno y discurriendo entre los poros del mismo, este gráfico mental puede ayudarnos a entender que existan reservas enormes de muchos kilómetros cúbicos de agua potable, que como veremos están peligrando si no se cambia de actitud y se las considera en la gestión de los recursos naturales, conjuntamente con las aguas superficiales.

Necesidad de un menor número y complejidad de obras: esta ventaja se desarrolla en varios sentidos. Por una parte las obras de captación en sí son, como dijimos, menos costosas, ocupan poco espacio y agregamos que resultan muy simples de operar. Se trata habitualmente de una bomba, la mayor parte de las veces eléctrica, con la sencillez que implica en la actualidad operar una máquina de las características de una bomba centrífuga. Por otro lado, como antes explicamos, en general no se efectúa

tratamiento de agua alguno, salvo en ocasiones, la adición de cloro, la mayor parte de las veces como precaución, y esto establece una enorme diferencia con las aguas superficiales, las que además de ser siempre desinfectadas, obligan a complejos tratamientos de potabilización, con un gran despliegue de equipos y el consecuente mayor empleo de energía. Este es otro aspecto del problema de la elección de una fuente de agua, que debe analizarse cuidadosamente: descontaminar implica consumo de energía, tanto mayor cuanto más elevado es el grado de deterioro que ha sufrido la calidad del agua.

Otra cuestión es el transporte o conducción de la misma. Como antes dijimos el agua subterránea se extrae casi donde se desee (existen naturalmente limitaciones pero son en todo caso menos restrictivas) y puede obtenerse entonces en el mismo lugar en que se utiliza, o como se emplea a menudo, para ser inyectada a lo largo de un acueducto en función de los consumos distribuidos sobre su traza o para no afectar puntualmente al acuífero. Compárese esta posibilidad con las del agua superficial, que sólo puede obtenerse de un cuerpo caudaloso y conducirse a través de grandes distancias por medio de costosas obras y abundante empleo de energía, o bien sin empleo de la misma en el trayecto, a favor de la gravedad, aunque con un costo mucho mayor en obras y debiendo elevarse el líquido al final de los mismos para su distribución local nuevamente por gravedad.

Existe aún otro aspecto poco mencionado y es que el acuífero es en sí mismo una reserva de agua de vastísimo tamaño y que cuando se diseña a partir de su empleo puede disminuirse el volumen de las obras de los depósitos. En efecto el agua superficial puede modificar su disponibilidad en un breve lapso por ejemplo por la incidencia de vientos desfavorables o por cortes de energía completamente alejados del sector servido, por esta razón las plantas depuradoras y en general los sistemas abastecidos con agua superficial deben dotarse de reservas de mayor tamaño, lo cual obviamente significa un costo de obra más elevado.

(*) Incluso debajo del mar porque en varios lugares se han descubierto aguas subterráneas potables, como en un caso reciente frente a las costas de Génova, Italia, con aguas surgentes de muy buena calidad.

1.6 Desventajas del agua subterránea

- ✓No son visibles
- ✓No siempre se sabe su origen
- ✓No siempre se comprende su dinámica
- ✓Es más difícil controlar su calidad
- ✓Es mas difícil regular la construcción de nuevas captaciones
- ✓Su elevada inercia química (ventaja inicial) se vuelve una desventaja cuando son contaminadas.

Desventajas del agua subterránea: sus consecuencias

I. AGOTAMIENTO

II. SALINIZACIÓN CRECIENTE

III. CONTAMINACIÓN EN AUMENTO

A raíz de las desventajas arriba mencionadas se originan los principales impactos sobre el agua subterránea que resultan en:

1) Agotamiento.
2) Salinización creciente.
3) Contaminación en aumento.

Con respecto al primer punto, esto es el peligro de agotamiento cuantitativamente hablando, diremos que es una realidad que la disponibilidad de agua de origen subterráneo, en muchos sitios va en disminución. En esos lugares se advierte que los niveles estáticos de los acuíferos descienden año a año, disminuyendo las posibilidades de extracción.

La causa de este problema radica generalmente en la sobreexplotación, es decir la extracción de agua por encima de la capacidad de recuperación que a través de la recarga natural poseen los acuíferos. En esos lugares sea por necesidades derivadas del riego o por la extracción que lleva a cabo la industria, a lo largo de mucho tiempo se ha bombeado agua desde las napas subterráneas en forma incontrolada, como si la misma estuviera disponible en cantidades ilimitadas, el resultado ha sido el mencionado, existiendo zonas adonde virtualmente ya no hay agua subterránea disponible en los acuíferos que antes la poseían en abundancia.

El otro factor es la disminución de la recarga del acuífero muchas veces por acción antrópica. En efecto, el hombre ha alterado los mecanismos de la recarga natural, desviando ingentes cantidades de agua de origen superficial o meteórico las que al ver alteradas su escorrentía natural dejan de infiltrar o lo hacen en menor proporción o mayor tiempo, situación agravada por la disminución de los espacios verdes y zonas de suelo expuesto, con la consecuente desaparición de áreas de infiltración potencial.

El siguiente problema expuesto es el de la salinización creciente de las aguas subterráneas. Este aspecto debe en rigor ser analizado conjuntamente con el anterior, ya que guarda directa relación con el ritmo de extracción que el

hombre efectúa. En efecto ha sucedido y sigue sucediendo que al sobreexplotar un acuífero antes de su agotamiento sobreviene el fenómeno de incremento salino del agua contenida, la cual se va tornando paulatinamente inservible para el hombre. Nos encontramos así en presencia de un agotamiento del recurso, esta vez de tipo cualitativo, donde si bien no se agotó el agua, la misma dejó de ser útil, es decir que el recurso efectivamente desapareció como tal.

El tercer y último problema planteado es el de la contaminación de las aguas subterráneas, debiendo diferenciarse entre la propia de una captación en particular y la general que afectaría a todo el acuífero o por lo menos a una parte de su cuerpo. No creemos equivocarnos al afirmar que más a menudo de lo que se cree se están sacando conclusiones generales acerca del acuífero a partir de problemas provocados localmente por una mala construcción de la captación (perforación), por fallas debidas al deterioro propio de su obsolescencia o por un mal diseño sobre todo en el caso de un sistema o batería de pozos. Esta consideración viene a cuento porque en determinadas circunstancias se desecha una fuente subterránea de agua por hallarse en la misma algún elemento o sustancia química sobre cuyo origen no hay absoluta certeza y a falta de ella se concluye, una vez más con apresuramiento y hasta con ignorancia, que es una contaminación que afecta al acuífero en su conjunto, susceptible de incrementarse y tanto más peligrosa por la presunta imposibilidad de controlarla.

La línea argumental es entonces resumidamente: detección de la contaminación, suposición de que irá en aumento lo que sumado a la imposibilidad de un adecuado control o seguimiento de la calidad del agua conduce a la decisión de desechar la fuente subterránea.

Una vez más debemos decir que sólo un estudio exhaustivo podrá determinar si la situación es de la gravedad que se asigna a priori y si es irreversible.

1.7 Química del agua subterránea

- Aniones: Cl^- ; SO_4^{2-} ; CO_3H^- ; F^- ;
- Cationes : Na^+ ; K^+ ; Mg^{2+} ; Ca^{2+} ; Fe^{2+} ; As^{5+}
- No iones : SiO_2 ; CO_2 ; O_2
- Unidades de concentración: mg/L equivale a ppm
- Otras unidades: moles/L y equivalentes/L siendo moles=g/peso molec.

  y Equivalentes= moles x valencia

  Ej.: 60 mg/L de Ca^{2+} siendo Peso molecular del Ca =40 equivalen a:

  60/40 = 1,5 mmol/L (mmol=milimol) = $1,5 \times 10^{-3}$ mol equivalen a:

  1,5 x 2 = 3 meq/L (meq = miliequivalente) = 3×10^{-3} eq / L

g = peso expresado en gramos

1.7 Química del agua subterránea

Balance eléctrico: la suma de aniones debe ser igual a la suma de cationes. El error admitido para la igualdad se calcula por:

$$\text{Error} = \frac{\Sigma\text{aniones} - \Sigma\text{cationes}}{\Sigma\text{aniones} + \Sigma\text{cationes}} \text{x}100$$

Se admiten errores del orden del <10% para aguas poco salinas y del 1 ó 2% para aguas con concentraciones de mas de 1000 mg/L.

Conductividad: facilidad del agua para conducir una corriente eléctrica.

Aproximadamente se cumple que:

Sales disueltas(mg/L)~Conductividad específica(μS/cm) x 0,75

S = 1/ohmio; μS es 1/microohmio

Valores de referencia en μS/cm : agua pura 0,05; destilada: 0,5-5; lluvia: 5-30 Subterránea potable: 30-1000; de mar: 50.000.

27

1.7 Química del agua subterránea

- ❑Dureza (dureza como mg/L de CO_3 Ca) =(Ca/20+Mg/12)x50
- ❑Bicarbonatos (CO_3 H) $_2$ Ca + Q ó Δp→ CO_3Ca + CO_2 + H_2O (*)
- ❑Carbonatos
- ❑Calcio y Magnesio
- ❑Sólidos disueltos totales
- ❑Hierro
- ❑Alcalinidad
- ❑Sodio (RAS en agricultura): $RAS = \frac{Na^{+}}{((Ca^{++} + Mg^{++})/2)^{0,5}}$

Valores bajos <10 ; Medios 10 – 18 ; Altos > 18

(*) Q: calor aportado ; Δp: disminución de presión

28

Dureza: las aguas subterráneas contienen en general sales en disolución, siendo su contenido función de los suelos en los cuales se encuentran alojadas o los que atravesaron hasta alcanzar su situación actual. Asimismo las aguas más antiguas han tenido la posibilidad de disolver una mayor cantidad de sales. Teniendo en cuenta ello resulta que en general las aguas más profundas originadas en la precipitación y su posterior infiltración, posee un tenor salino más elevado, con relación a aguas del mismo origen ubicadas a menor profundidad.

Algunas investigaciones han señalado que una dureza intermedia (del orden de 40-60 mg/L como carbonato de calcio) es beneficiosa para prevenir enfermedades cardiovasculares. Actualmente otros trabajos ponen en duda esos resultados y la OMS dejó de establecer parámetros deseables de dureza en el agua de bebida.

Las sales que producen la dureza en agua subterránea: bicarbonatos, sulfatos, cloruros y nitratos, todas ellas de calcio y de magnesio. Los bicarbonatos provienen de una combinación muy débil del carbonato, aportado por las rocas con las cuales el agua entra en contacto, con una parte del dióxido de carbono presente en el agua. La parte de dióxido de carbono incorporada en el bicarbonato se separa al calentarse el agua y el ión carbonato reacciona con los iones de calcio y de magnesio precipitando en forma de una costra insoluble característica (sarro). Primero se deposita la costra de carbonato de calcio (el de magnesio es 5 veces más soluble). Esta es la dureza temporal o de carbonatos. La de no carbonatos constituye la otra parte de la dureza total, está dado por los cloruros, sulfatos y nitratos de calcio y de magnesio y no es eliminable por ebullición.

Agua blanda o suave < 50 mg/L como carbonato de calcio.

Agua dura > 150 mg/L como carbonato de calcio.

Sólidos disueltos totales: las aguas adecuadas para consumo humano se encuentran entre 500 y 1000 mg/L de ST. Más allá de ese tenor el agua contiene generalmente minerales que le confieren sabor desagradable o la hacen inadecuada para otros usos.

Hierro: no genera problemas fisiológicos en las concentraciones en que se encuentra normalmente en el agua subterránea, pero en cambio el hierro genera problemas tales como manchas en la ropa y la vajilla y obstrucciones en las tuberías.

Nitratos:

Los nitratos son ingeridos por el hombre como parte de su dieta normal, resultando tóxicos cuando superan los niveles habituales de ingesta, siendo la dosis típica de nitratos para adultos aproximadamente de 75 mg/día. Mirvish S.S. determinó que en adultos, el nitrato es letal en dosis de 4 a 50 g, en tanto que el nitrito resulta serlo en dosis de 1,6 a 9,5 g. El nitrato, al ser reducido a nitrito en el organismo, es tóxico porque puede generar metahemoglobinemia, proceso en el cual el ion ferroso de la hemoglobina de la sangre es oxidado (estado de oxidación +2) a ion férrico (estado de oxidación +3).

La metahemoglobinemia se manifiesta con cianosis (amoratado con coloración azul) y anoxia (signos de falta de oxígeno), síntomas debidos a un defectuoso transporte de oxígeno en la sangre por la pérdida de hemoglobina y por la interferencia de la metahemoglobina en el transporte de oxigeno. En dosis orales individuales de 2 a 4 g el nitrato y de 60 a 500 mg el nitrito, han producido casos registrados de metahemoglobinemia en humanos (Mirvish S.S., 1990).

Los niños de corta edad (de hasta 3 años) son especialmente susceptibles a la metahemoglobinemia porque en los niños:

- la hemoglobina fetal, que corresponde al 70% de la hemoglobina total, ya que adquieren el 30% restante no antes de los 3 meses de edad, es más fácilmente oxidada a metahemoglobina que la hemoglobina de adultos.
- Se presentan deficiencias para reducir la metahemoglobina a hemoglobina en los glóbulos rojos de su sangre.
- la ingesta de agua es, en proporción a su peso corporal, diez veces mayor que en los adultos.
- se presenta un relativamente alto pH en el estómago, lo cual favorece el desarrollo de bacterias que reducen nitrato a nitrito, especialmente durante la gastroenteritis.

En niños la causa más común de metahemoglobinemia resulta ser el nitrato en el agua de bebida. Mediante estudios epidemiológicos, Walton (1951) encontró que esa condición ocurre:

Contenido de Nitrato en el agua de bebida (como nitrógeno de nitratos)	Incidencia de Metahemoglobinemia en infantes
mg/L	**% de casos sobre población expuesta**
10	0
10 - 20	2,3
20 - 40	17

Estas investigaciones son la base del límite de 10 mg/l de nitrato - N establecido para el agua potable por la Organización Mundial de la Salud.

Se agrega a lo anterior que se ha determinado en animales que muchos componentes N - nitroso son fuertemente cancerígenos. No obstante ello, el nitrato en el agua de bebida no puede ser ni indicado ni descartado como causa de ciertos tipos de cáncer en humanos (Weisenburger, 1990).

En un sistema de acuíferos de llanura según lo ha demostrado la hidrología, el flujo de los escurrimientos es predominantemente vertical, en particular el desplazamiento de las intrusiones contaminantes como las de aguas cargadas de nitratos se dará desde la superficie, en donde se desarrollan las actividades antrópicas contaminantes, a la capa freática y desde ésta al acuífero semiconfinado en donde se difundirán por dispersión.

El nitrato no es un mineral insoluble que pueda precipitar siendo la reducción, la única forma en que puede ser removido "in situ" en el agua subterránea. El proceso de reducción de los nitratos (denitrificación) requiere de la presencia catalizadora de bacterias y de condiciones de anaerobiosis (no difusión de oxígeno).

Mediante análisis químicos de los macroelementos, incluyendo el ion NO3-, en los pozos de abastecimiento de agua se puede determinar el contenido del isótopo 15N a fin de identificar el origen del nitrato (Heaton, 1986).

De esta manera y mediante la relación de los isótopos 15N y 14N, se puede identificar el origen de los nitratos según provengan de los fertilizantes, de las excretas o de los residuos sólidos.

Antecedentes de estudios de Nitrógeno-15, efectuados en áreas urbanas, confirman que la principal fuente de nitratos que ingresan al agua subterránea, es el agua residual doméstica que se vierte a los cauces y en el subsuelo sin tratamiento previo. Las vías de ingreso son básicamente las descargas de efluentes cloacales sin depurar (sistemas de cámara séptica – pozo absorbente) en el subsuelo y que alcanzan la capa freática y en los cursos superficiales cuyas aguas se intercambian con la misma.

Un factor fundamental, a menudo olvidado al enumerar los mecanismos que aceleran la migración de los nitratos desde la capa freática al acuífero semiconfinado, lo constituyen las perforaciones para captación de agua mal construidas o en deficiente estado de conservación que, por fallas en la configuración de la imprescindible aislación vertical que debieran tener, ponen en contacto directo a ambos acuíferos.

Arsénico:

La significación sanitaria del arsénico en el agua de bebida es de suma importancia ya que su ingesta prolongada provoca una serie de afecciones en la salud humana tales como hiperpigmentación, hiperqueratosis palmoplantar, diabetes mellitus, anemia, cáncer de piel , vejiga y pulmón, según diferentes atapas de avance de la afección.

La presencia de arsénico en agua subterránea es debida en gran medida a causas naturales tales como el vulcanismo, en el caso de América del Sur en la Cordillera de los Andes, pero también por actividades humanas tales como la extracción de minerales y su posterior transformación y en menor medida por el uso de plaguicidas arsenicales en la actividad agrícola. El arsénico se incorpora al suelo y luego se difunde por el viento para alcanzar finalmente a las aguas subterráneas.

El arsénico se encuentra como trivalente o pentavalente si bien en el agua de bebida está presente habitualmente en la segunda de sus formas como arseniato. La toxicidad es mayor en el arsénico de origen inorgánico que orgánico y en el trivalente que en el pentavalente. En el cuerpo humano el arsénico se elimina por la orina y el exceso tiende a acumularse en los cabellos y en las uñas.

PARTE II

2.1 Dinámica de las Aguas Subterráneas

Acuífero – Propiedades y funciones

Acuífero: formación geológica de la cuál puede extraerse agua de manera económicamente posible.

a) Debe poseer aberturas entre las partículas que lo constituyen o bien fisuras o fracturas. En ocasiones canales o cavernas de disolución o aberturas resultantes de la contracción de la roca.

b) Función almacenadora: sirve como depósito

c) Función transmisora: transmite agua. La forma de circulación varía según las características del acuífero.

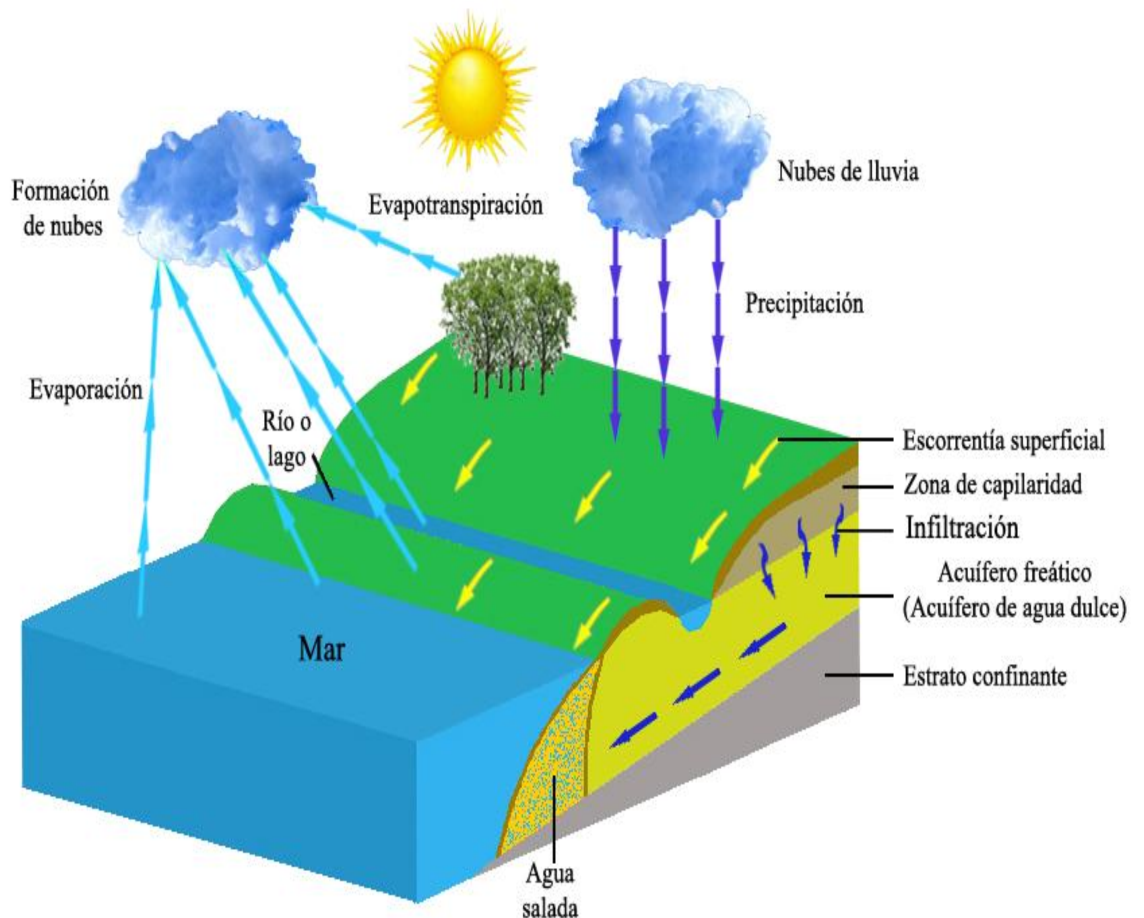
Recarga o alimentación de un acuífero: en términos generales se produce a partir de las aguas de precipitación que escurren (escorrentía superficial) y se infiltran. En ocasiones intercambian agua con los cuerpos superficiales. Alóctona: alejada del punto de observación y Autóctona: cuando es local.

Acuíferos fósiles: se formaron en épocas geológicas remotas y no tienen actualmente recarga.

30

2.1 Dinámica de las Aguas Subterráneas

Ciclo del agua y la presencia de las aguas subterráneas



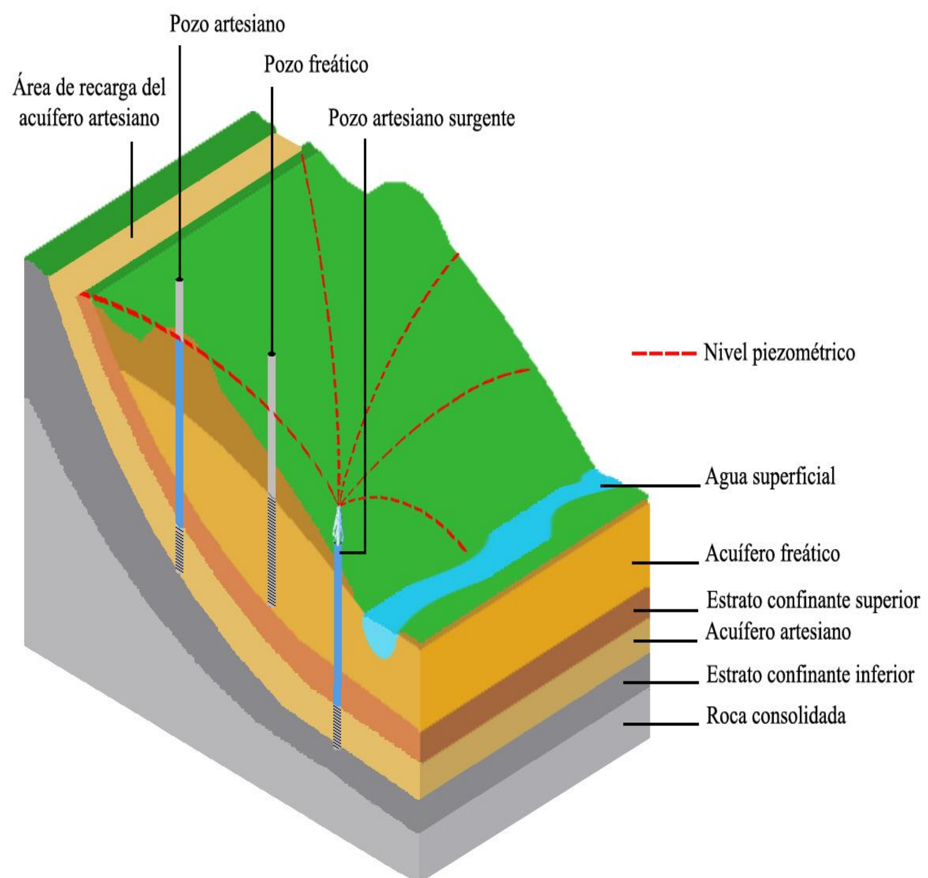
31

Las aguas subterráneas se encuentran incluidas en el ciclo del agua en la naturaleza, si bien por su ubicación y dependiendo, entre otros factores, de la permeabilidad de los estratos que las alojan o de aquellos que las separan de la superficie, su velocidad de circulación dentro del ciclo es en términos generales marcadamente menor que las de las aguas superficiales. Estas últimas están a su vez sometida de manera directa a la acción del sol, fuente de energía que sostiene en marcha la rueda del ciclo. Sin embargo tarde o temprano son removidas de su emplazamiento y terminan evaporándose, con lo cual pierden la totalidad de las sales y de los eventuales componentes contaminantes que se le hayan incorporado. En la actualidad y debido a la elevada explotación a que son sometidas las aguas subterráneas, en muchos sitios ha disminuido notablemente el período de renovación, particularmente de aquellas que son destinadas al riego agrícola, en donde ingentes volúmenes de agua se evaporan incluso durante la misma operación de riego o inmediatamente después al quedar expuestas sobre la superficie y sujetas a la radiación solar. A su vez el escurrimiento superficial que en muchos casos se genera hace que las aguas subterráneas alcancen cuerpos de agua superficial desde donde se evaporan. Además la extracción desde los puntos de captación genera incrementos en las habitualmente muy bajas velocidades de circulación natural de las aguas subterráneas en el interior de los medios porosos que normalmente constituyen los acuíferos.

El concepto de *acuífero* propuesto es económico y como tal está sujeto a consideraciones que no son sólo propias de la técnica de extracción de agua subterránea, sino y fundamentalmente que tienen que ver con la mayor o menor facilidad de extraer el agua en un sitio determinado y a que costo, y que éste sea compatible con la necesidad y las posibilidades de conseguir agua de otra fuente alternativa. Así un acuífero de bajo rendimiento, puede serlo en una zona árida aislada si sólo se requiere agua para unas pocas personas y una formación hidrológicamente equivalente será completamente desechada en una zona con alternativas viables de suministro o con poblaciones muy numerosas que justifiquen captar el agua de otras fuentes, incluso subterráneas o construir costosas obras de conducción desde lugares alejados. Fuera de estas consideraciones económicas, acuíferos serán aquellas formaciones capaces de trasmitir y de almacenar agua y para ello resulta evidente que deben poseer una *porosidad eficaz* mínima y ser accesibles dese la superficie por medio de las obras habituales de captación.

Otro factor significativo a la hora de evaluar un acuífero será el de la calidad de agua que es capaz de suministrar y en ese sentido los acuíferos artesianos poseen en general una mejor protección natural y la ventaja de que al ascender naturalmente el agua, bajan los costos de instalación y de energía necesarios para su extracción.

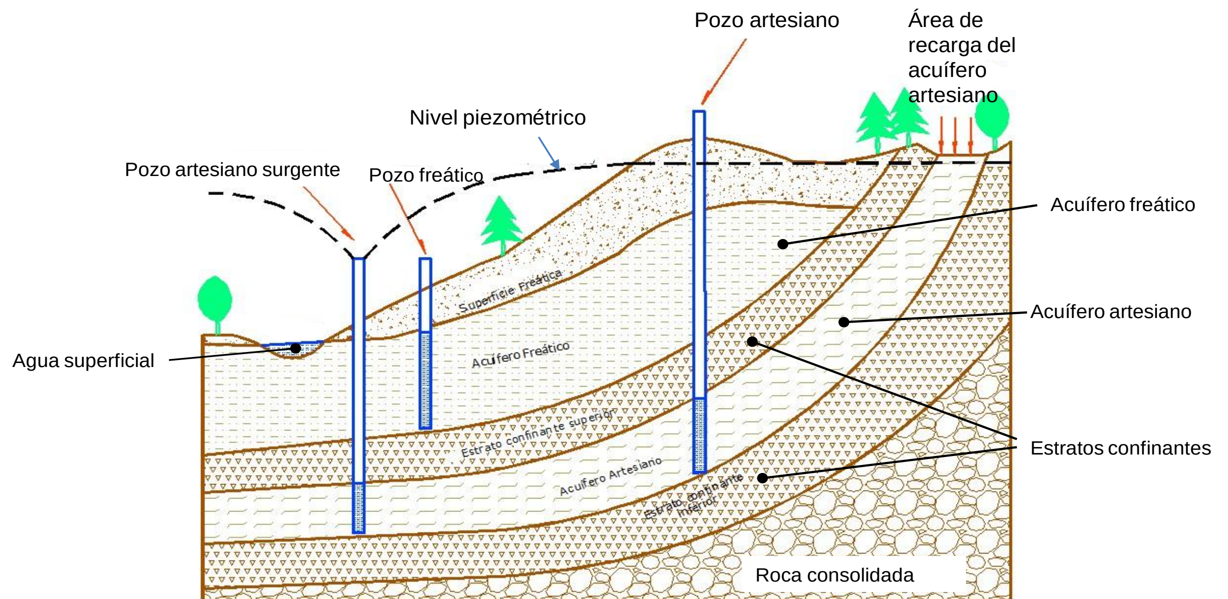
2.1 Dinámica de las Aguas Subterráneas
Distintos tipos de acuíferos - Esquema



33

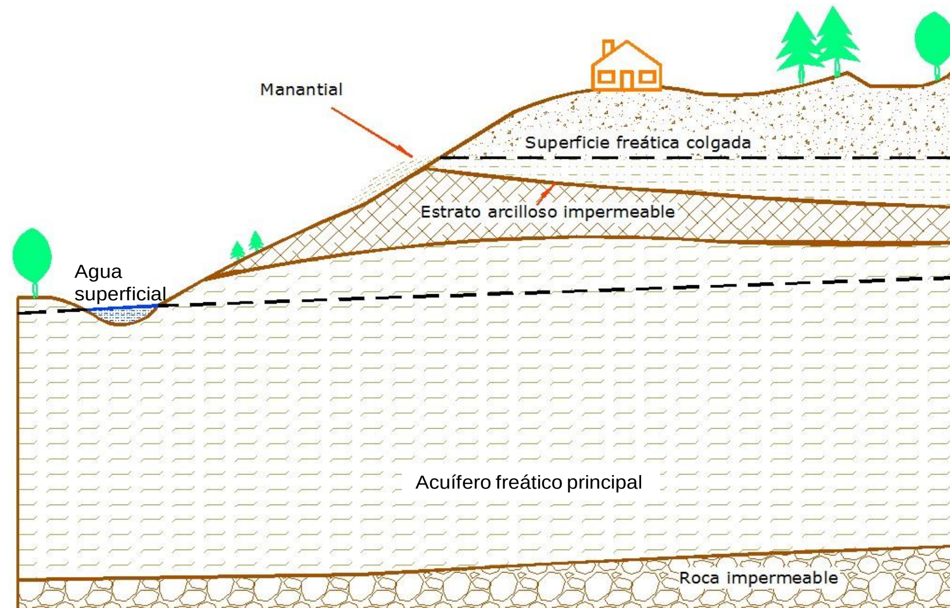
Dinámica de las Aguas Subterráneas

Distintos tipos de acuíferos - Esquema



- ***Libre o no confinado***: aquel en que su límite superior es la zona de saturación. Un pozo construido para explotar un acuífero de este tipo se denomina freático. El nivel de agua dentro del pozo coincide con el nivel de agua dentro del acuífero. Su superficie libre se encuentra a presión atmosférica.
- ***Confinado o artesiano:*** (también ***cautivo, bajo presión***) son aquellos en los que el agua contenida se encuentra confinada bajo una presión mayor que la atmosférica. Esta situación se debe a que se encuentran limitados por estratos impermeables (*acuiclusos*). En la naturaleza existen mas que los acuíferos confinados los ***semiconfinados,*** que se encuentran limitados por estratos de baja permeabilidad (llamados acuitardos) pero no completamente impermeables. Son en general artesianos y presentan intercambio vertical con los acuíferos supra o subyacentes .
- ***Nivel estático:*** nivel del agua dentro del pozo cuando no se extrae agua del mismo. En el caso de un acuífero artesiano, coincide con el nivel que asume la línea piezométrica representativa de la energía que posee el agua del acuífero en coincidencia con el emplazamiento del pozo. El nivel estático de un pozo freático (que explota un acuífero libre) varía directamente con la intensidad de las precipitaciones, cercanía de cuerpos superficiales de agua y cambios en la presión barométrica.

Dinámica de las Aguas Subterráneas
Distintos tipos de Capas o napas freáticas

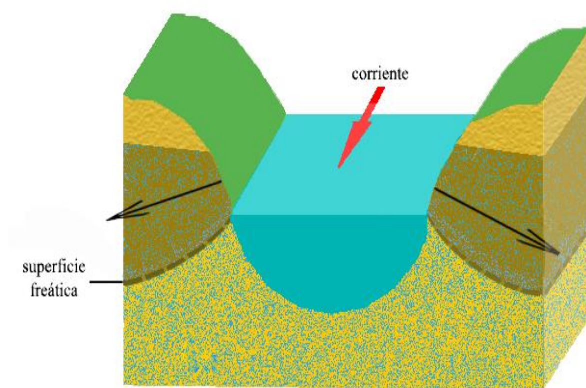


Puede apreciarse en la figura que existen distintos tipos de capas de agua freática y que aunque en un determinado sitio se alumbre la napa luego de atravesar un estrato arcilloso de muy baja permeabilidad la misma no ascenderá por no ser artesiana. Esta situación de capas de agua subsuperficiales freáticas se da con cierta frecuencia en la realidad y a menudo ocurre que siendo los estratos confinantes acuitardos, ambos acuíferos freáticos conforman una sola unidad hidrogeológica.

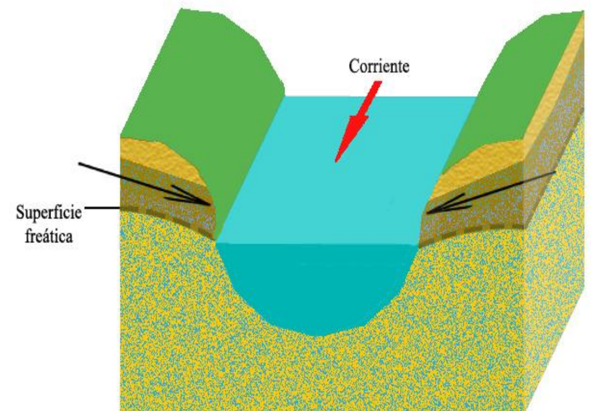
Esta misma situación se da en algunos casos incluso con acuíferos freáticos y artesianos semiconfinados, siendo ejemplo de ello el Puelche que se extiende al Norte desde el extremo sur de la Provincia de Córdoba y de Santa Fé hasta aproximadamente la localidad de Punta de Indio en la Pcia. de Bs.As., limitando al Oeste con la cuenca del Río Salado y al Este con el Rio de la Plata. Según los estudios hidrogeológicos el Puelche se encuentra subdividido en tres subacuíferos: epipuelche, puelche propiamente dicho e hipopuelche (este último por debajo del estrato confinante comúnmente denominado arcilla azul) .El intercambio de agua en este caso se hace a través de los estratos confinantes superiores respectivos y la recarga es autóctona.

2.1 Dinámica de las Aguas Subterráneas

Situaciones de la capa freática



Freática influente al curso superficial

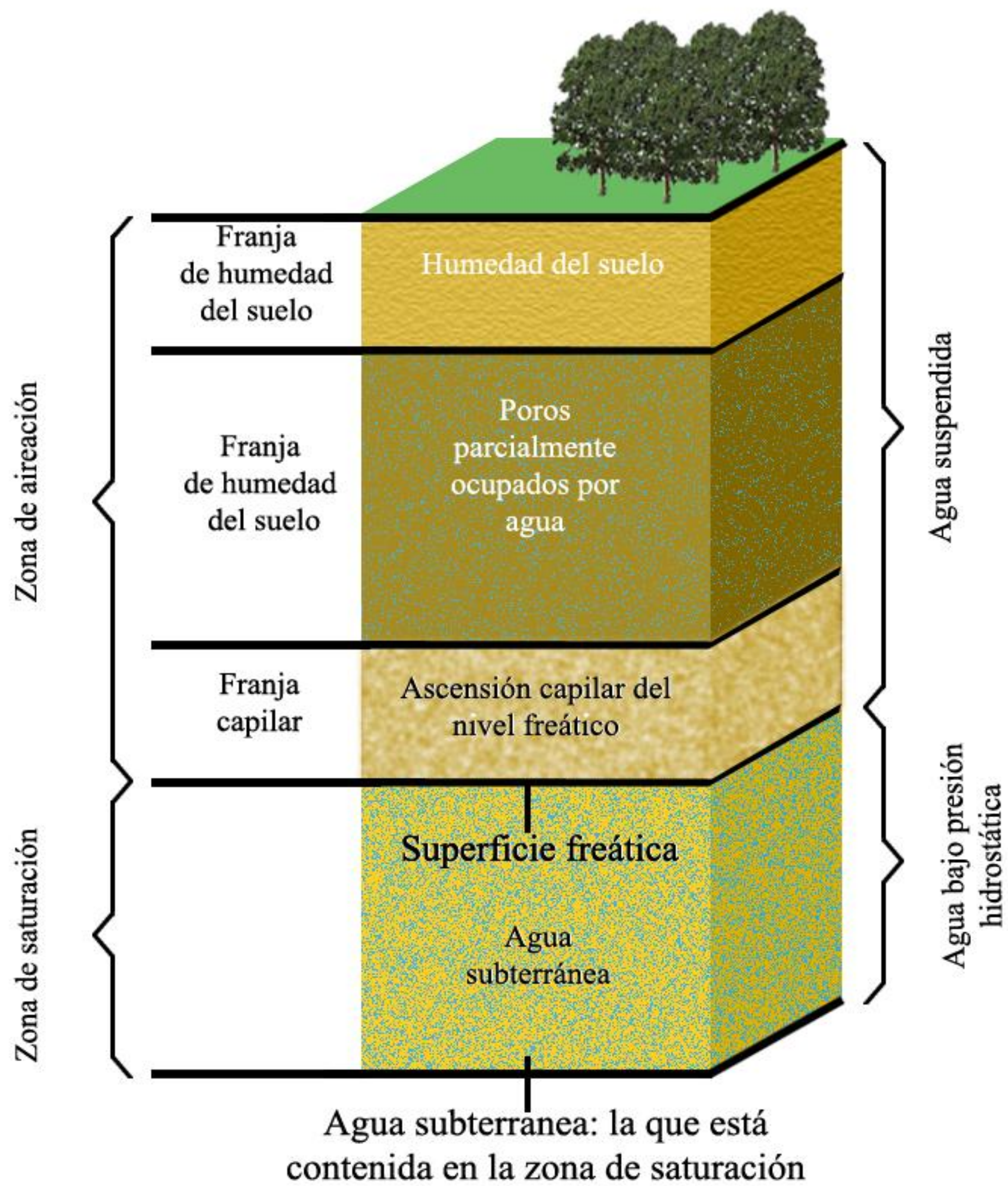


Freática afluente al curso superficial

36

Agua subterránea: la que está contenida en la zona de saturación

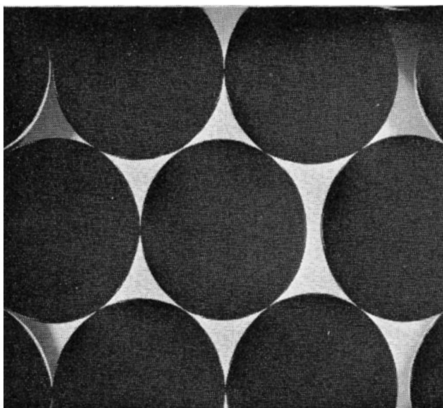
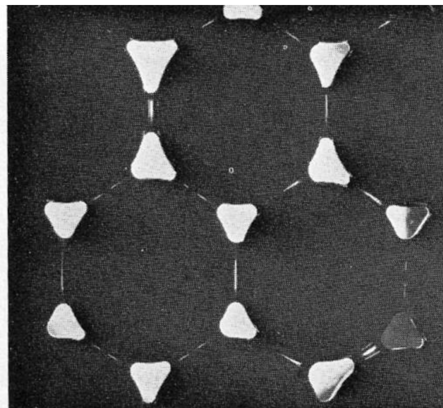
Si bien existe agua en las zonas ubicadas por encima de la de saturación, dicha agua se encuentra ocupando parcialmente los poros del terreno. En cambio a partir de la zona de saturación el agua ocupa completamente los poros del estrato que la contiene. No obstante ello la profundidad de la zona de saturación es variable dependiendo de las condiciones ambientales.


Franja
de humedad
del suelo
Humedad del suelo
Franja
de humedad
del suelo
Poros
parcialmente
ocupados por
agua
Franja
capilar
Ascensión capilar del
nivel freático
Superficie freática
Agua
subterránea
Zona de aireación
Zona de saturación
Agua suspendida
Agua bajo presión
hidrostática
Agua subterranea: la que está
contenida en la zona de saturación

- ***Porosidad o Porosidad Total (mt)****:* relación del volumen de los huecos al volumen total del terreno que los contiene.

- Cantidad de agua contenida en el terreno: es el producto de la porosidad (por el volumen de suelo saturado (Vhs). La cantidad será mayor cuanto más homogénea y mayor sea la granulometría de los granos o partículas.

- ***Porosidad eficaz (me)***: volumen de agua que puede ser efectivamente removido por gravedad con relación al volumen total del terreno. La ***retención específica*** es la cantidad de agua retenida dividida por Vh y será mayor a menor tamaño de partícula o por mayor nivel de cementación o compactación.

Masa de esferas antes de ser saturada de agua

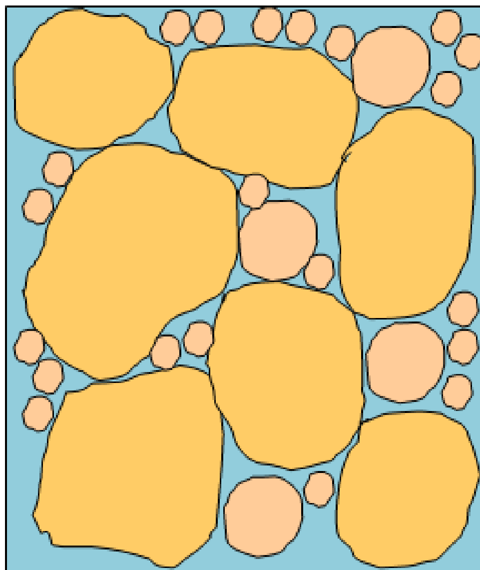
Luego de ser saturada y drenada por gravedad

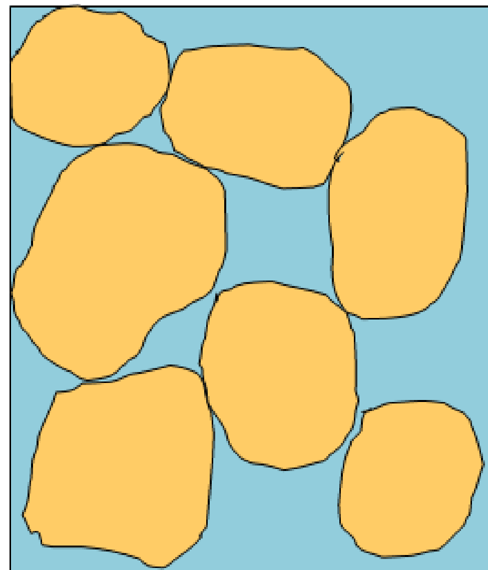
(figura tomada de "EL Agua Subterránea y Los Pozos". Johnson Division. Primera Edición 1975)

Nótese que una vez drenada el agua por gravedad, queda sobre la superficie de cada una de las esferas una cantidad de agua que no se puede remover por gravedad, es decir dejando simplemente que el agua escurre a favor de su propio peso.
Ese volumen de agua retenida, constituye la manifestación de la retención de agua y será mayor, entre otros factores, cuanto menor sea el diámetro de las esferas. La retención es debida a la capilaridad y a la atracción molecular.

2.1 Dinámica de las Aguas Subterráneas

Importancia de la granulometría y de la homogeneidad





Muestra de material heterogéneo

Muestra de material homogéneo

La porosidad total aumenta como puede verse con la homogeneidad. La porosidad eficaz aumenta con el tamaño de grano ya que disminuyen los fenómenos que provocan la retención específica.

2.1 Dinámica de las Aguas Subterráneas

Principio de Bernoulli – Línea Piezométrica

- El principio de conservación de la energía para una sección dada de una línea de flujo (trayectoria que siguen las partículas fluidas) se expresa como:

E= $\sum$ (energía potencial + energía de presión + energía cinética)

- **Altura manométrica (H):** expresa la energía total (E) que posee el fluido por unidad de peso del fluido. Se expresa habitualmente en Kgm/Kg la que, simplificando, resulta ser m (metro) unidad de longitud.

La altura manométrica se compone, para un momento y una sección de la línea de flujo dados, de:

- Una altura geométrica ***hg = z***, de elevación que se debe tomar midiendo en dirección vertical, la distancia que media entre el nivel del plano de referencia y el nivel del eje de la línea de flujo analizada. Esta altura representa la energía potencial.
- Una altura representativa de ,o equivalente a, la energía debida a la presión que posee el fluido cuya expresión matemática es ***hp=p/*** γ adonde ***p*** es la presión y γ es el peso específico del fluido a la temperatura y presión en que se encuentra el mismo.
- Una altura equivalente a la energía cinética, dada por ***hv=V²/2g*** que posee el fluido.

Resulta entonces la **ecuación de Bernoulli** :

$$H = hg + hp + hv$$

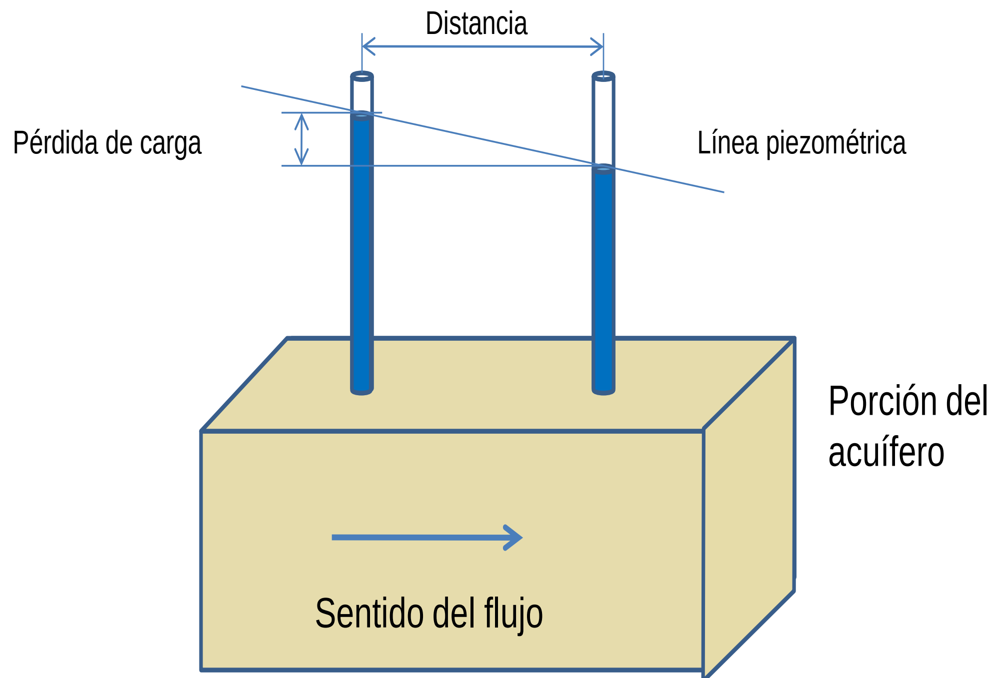
$$H = z + \frac{p}{\gamma} + \frac{V^2}{2g}$$

- En los flujos de agua subterránea, se desprecia el término hv dado que las velocidades son muy reducidas y si nos movemos sobre un plano horizontal queda: ***H(m) = hp***

- La línea que representa la suma de hg + hp, en los diferentes puntos de la trayectoria es la **línea piezométrica.**

Dinámica de las Aguas Subterráneas

Circulación de agua a través de un medio poroso



Para que el agua circule se debe establecer un gradiente hidráulico (I)

El gradiente hidráulico es I = Pérdida de carga / distancia

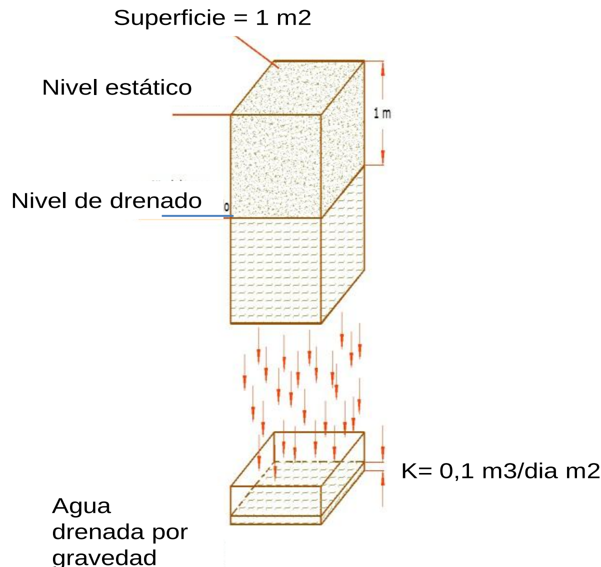
Otro gradiente: sin guardar relación con el anterior, existe otro gradiente de interés en la explotación de las aguas subterráneas. Se trata del **Gradiente Térmico** el cual tiene que ver con la profundidad de captación del agua.

A medida que se profundiza en una perforación la temperatura del agua captada va en aumento, así en los primeros metros las temperaturas del subsuelo y por consiguiente del agua que aloja, están condicionadas por el clima, mientras que aproximadamente entre 20 y 60 metros son relativamente constantes con valores de 15 a 18° C y en los pozos profundos la temperatura está influida por el gradiente geotérmico de la Tierra que es de 3°C cada 100 metros.

Por otra parte se observa siempre una gran constancia en la temperatura del agua subterránea a lo largo de las estaciones del año y aunque en la superficie se manifiesten grandes saltos térmicos.

Dinámica de las Aguas Subterráneas

Permeabilidad - Ley de Darcy (Henri,1856)



Ley de Darcy:

$$V = \frac{Q}{A} = K \times \frac{(h_2 - h_1)}{L}$$

Donde:
V: velocidad del flujo
Q: caudal
A: área que permea
K : permeabilidad
$h_2 - h_1$:carga hidráulica

L: distancia de la trayectoria
$I = (h_2 - h_1) / L$: es el gradiente hidráulico.

K=0,1 m3/dia.m2

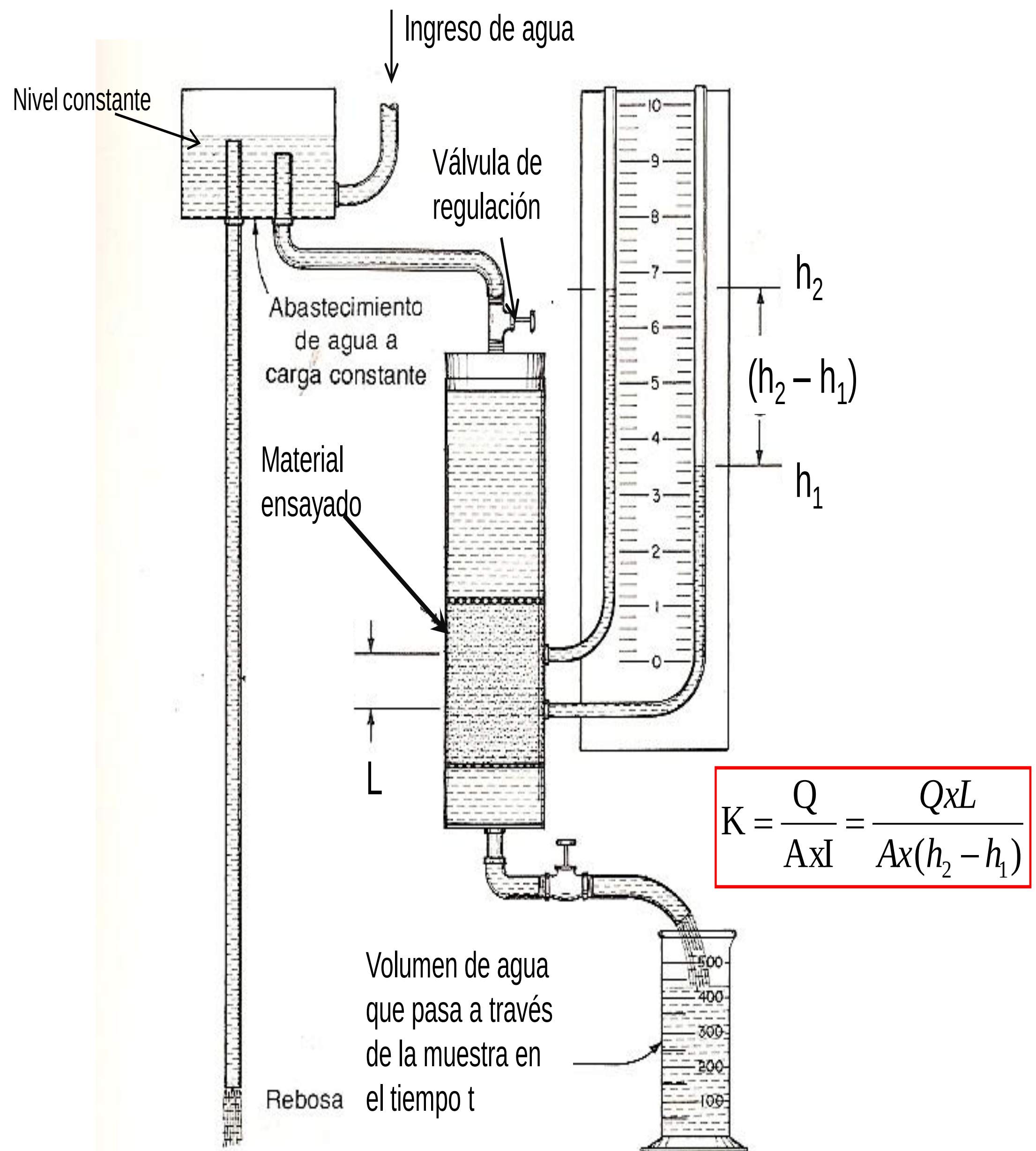
La **permeabilidad (K)** se define como la capacidad de un medio poroso de transmitir agua.

La permeabilidad es una característica del medio poroso y depende de la porosidad eficaz la que a su vez es proporcional al tamaño del grano (granulometría) del material que compone el acuífero, así como de la homogeneidad del mismo. Un material de granulometría homogénea poseerá una mayor permeabilidad que otro con tamaños de grano heterogéneos. Así en la práctica los mejores acuíferos en cuanto a su producción son aquellos compuestos por granos de arena de grano grueso y uniforme sin intercalación o mezcla con arcilla.

La determinación de la permeabilidad se efectúa en laboratorio con un aparato denominado permeámetro.

Algunos valores de permeabilidad: arcilla limosa: 0,000008 m3/dia.m2
Arena:43,2 m3/dia.m2
Grava gruesa: 864 m3/dia.m2

DETERMINACIÓN DE LA PERMEABILIDAD EN PERMEÁMETRO DE CARGA CONSTANTE



Tomado de "El Agua Subterránea y Los Pozos" Johnson Division, UOP Inc.

A= Sección transversal del cilindro que contiene el material ensayado.

La válvula de regulación permite obtener un caudal Q constante tal que el nivel en la cuba de alimentación se mantenga constante. Si Q=cte. es I=cte. y se determina K.

Dinámica de las aguas subterráneas

Transmisividad – Almacenamiento

- ***Transmisividad (T):*** caudal que se filtra a través de una sección de ancho unitario y altura (b) igual a la del manto permeable saturado, bajo la carga producida por un gradiente hidráulico unitario. Es una característica del manto acuífero. $T = K \times b$

  Por ej. : valores de T > 100 m3 / dia.m indican un pozo apto para abastecimiento público, riego, etc.

- ***Coeficiente de Almacenamiento (S):*** volumen de agua que libera el acuífero, por una columna cuya base tiene un área unitaria y una altura igual al espesor del acuífero, cuando el nivel piezométrico desciende una unidad.

  En un acuífero libre es igual a la *porosidad eficaz* y en un acuífero artesiano se debe por un lado a la compresión de una columna de la formación acuífera de base unitaria y altura b y por el otro a la elasticidad del agua contenida en esa columna, que se expande cuando la carga hidráulica se reduce por bombeo.

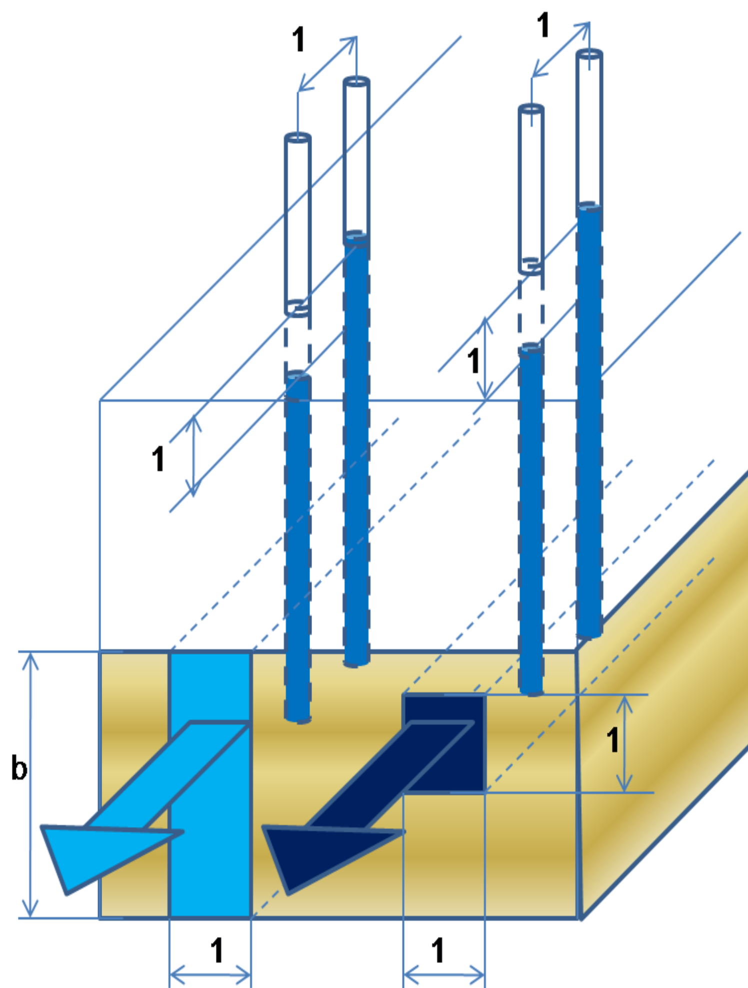
  Valores tipo para acuíferos libres: $0{,}01 < S < 0{,}3$ (orden 10^{-1} - 10^{-2})
  Valores para acuíferos semiconfinados: $0{,}001 < S < 0{,}0001$ (orden 10^{-3} - 10^{-4})
  Valores para acuíferos confinados: $0{,}00001 < S < 0{,}0001$ (orden 10^{-4} - 10^{-5})

Con la notación S (de Storativity) se identifica aquí al almacenamiento o coeficiente de almacenamiento. Mientras que m y T nos indican la capacidad de permitir que el agua circule a través de una roca o formación geológica, K y S nos indican su capacidad de almacenar agua y cederla después.

FORMACION	Porosidad total - mt	Porosidad eficaz - me	Permeabilidad - K
Acuífero	Alta o Media	Alta o Media	Alta
Acuitardo	Alta o Media	Media o Baja	Baja
Acuicluso	Alta	Baja	Nula
Acuífugo	Nula	Nula	Nula

2.1Dinámica de las aguas subterráneas

Permeabilidad - Transmisividad



Permeabilidad

K= caudal a través de una sección transversal unitaria. (m^3/m^2 .día)

Transmisividad

T= caudal a través de una sección de ancho unitario y del espesor del acuífero es T= K x b (m^3/m .día)

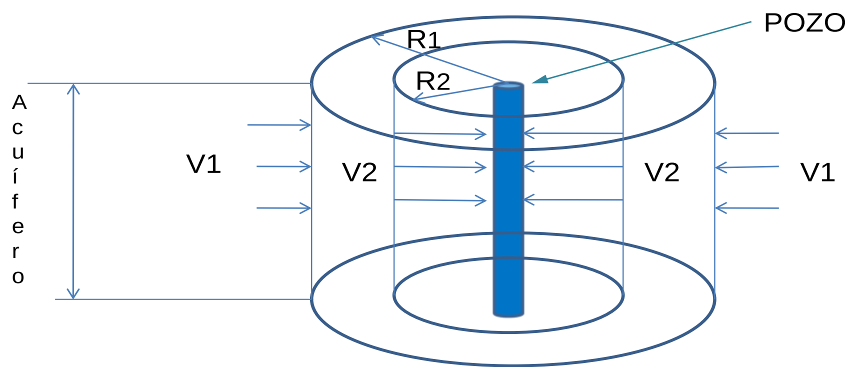
El gradiente hidráulico es unitario en ambos casos. (m/m)

Dinámica de las Aguas Subterráneas

Flujo convergente

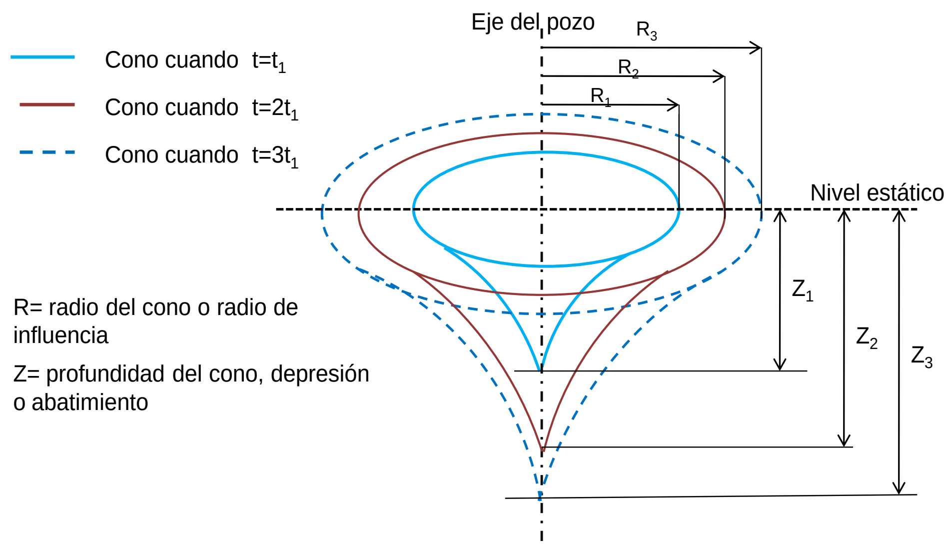
Si: A= sección lateral es A = $2x\pi xR^2$ el caudal es Q = V x A adonde V = velocidad radial.

Si Q = cte. y $R_1 = 2 \times R_2$ es $A_1 = 2 \times A_2$ y resulta $V_2 = 2 \times V_1$



Dinámica de las Aguas Subterráneas

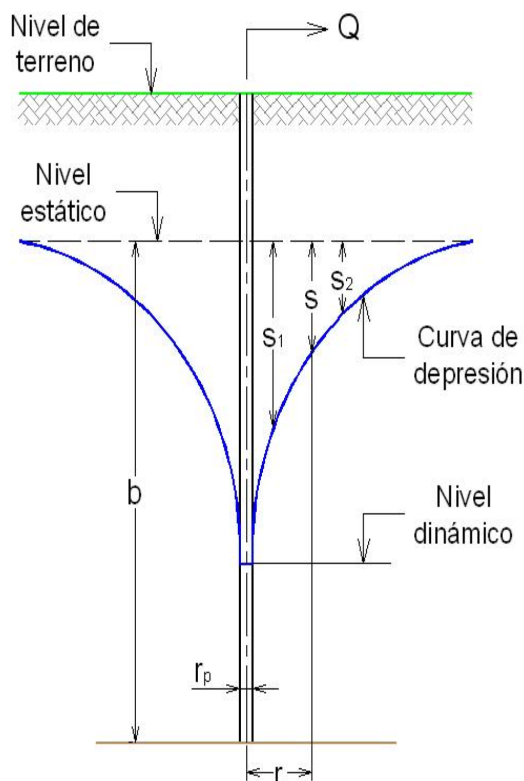
Cono de depresión



Conos de depresión con t= tiempo de bombeo a caudal constante

---

2.1 Dinámica de las Aguas Subterráneas
Régimen Permanente y Régimen Variable



Cuando se extrae agua de una captación (pozo o perforación) se establece el denominado "cono de depresión". La forma del cono nos indica como debe ser la:

Función de la forma del cono:

Para régimen permanente (el flujo no varía con el tiempo): s= f (1/r; Q, 1/T)
El pozo ya no aporta agua por vaciado de los poros del terreno o por descompresión del agua, sino que solamente ***transmite*** agua. (equilibrio).

Para régimen variable (el flujo varía con el tiempo): s=f (1/r; Q; 1/T; 1/S)

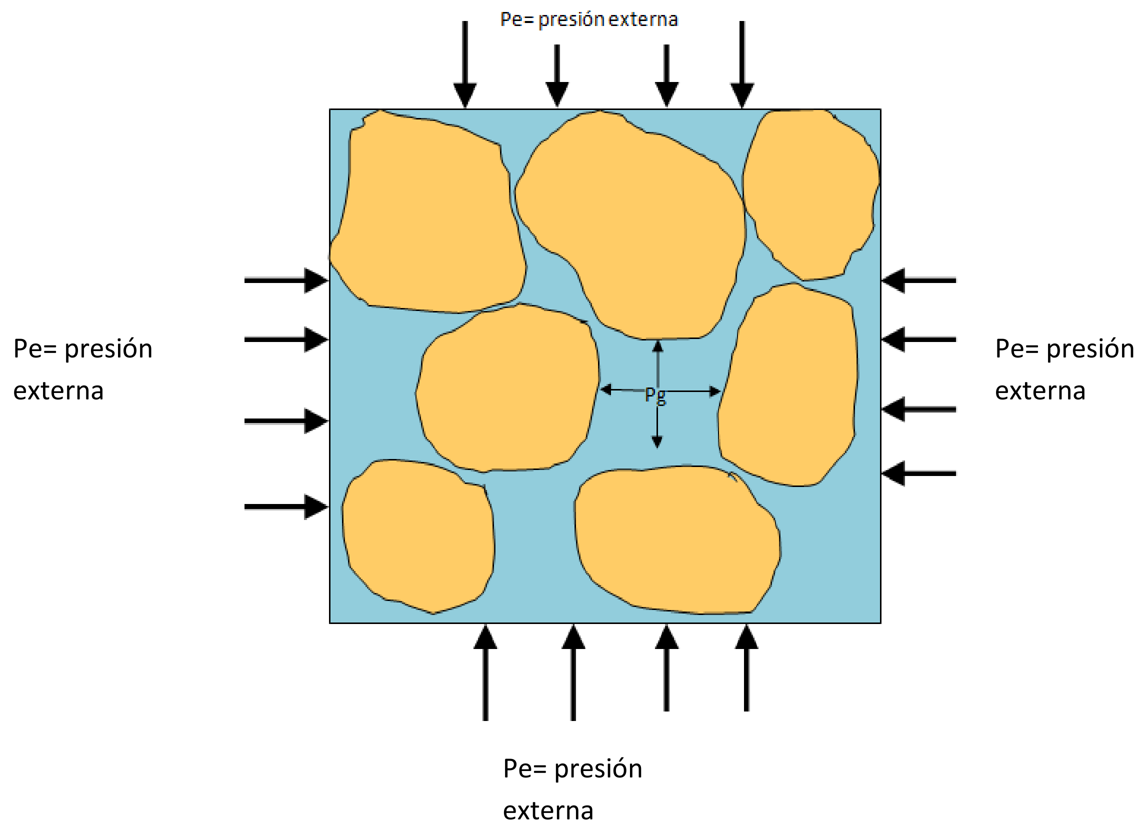
Aquí el pozo sigue entregando agua a partir de su capacidad de almacenamiento (confinado) o por vaciado de los poros (libre) 49

En un acuífero a igual Transmisividad (T) el cono es más extendido cuanto más bajo es el Coeficiente de Almacenamiento (o m_e para libres), mientras que a igual Coeficiente de Almacenamiento aumenta la pendiente del cono cuanto más baja la Transmisividad.Los conos de depresión en acuíferos confinados tienen una pendiente menor (T es mayor) y son más extendidos que los que se forman en acuíferos libres (S es menor).

2.1 Dinámica de las aguas subterráneas

Elasticidad – Compresibilidad

Cuando la Pe disminuye por efecto de la extracción de agua del acuífero (se manifiesta en el abatimiento del nivel dinámico respecto del estático), disminuye simultáneamente la pg (presión interna o de grano) y se dan dos fenómenos: por un lado los granos se aproximan disminuyendo el espacio intergranular desalojando agua y por el otro el agua disminuye su densidad y se expande (aumenta su volumen específico): esta es el agua que entrega el acuífero y que le permite mantenerse saturado aún sin recarga. Se considera indeformables a los granos.



2.1 Dinámica de las aguas subterráneas

Elasticidad – Compresibilidad

Cuando ocurre un cambio en el nivel de agua en un acuífero saturado, se puede almacena o liberar una cantidad de agua. Vimos que el Coeficiente de Almacenamiento, S, es el volumen de agua, por unidad de área y cambio en la altura de agua, que se absorberá o liberará desde el almacenamiento o contenido de agua.
En la zona saturada existe lo que se denomina presión de poros: el agua induce una presión interna que afecta la distribución de los granos que componen el estrato que la alberga y además modifica la densidad de la misma agua contenida en los poros.
Si la presión interna aumenta, el esqueleto del estrato se expande, si la presión disminuye el esqueleto se contrae. Este fenómeno se conoce como elasticidad del acuífero.
Por otra parte el agua se contrae debido a un aumento en la presión y se expande frente a una disminución de la misma.

En resumen: cuando la carga hidráulica del acuífero disminuye , disminuye la presión interna o "de poros" su esqueleto se contrae lo que reduce la porosidad efectiva y se libera agua. Adicionalmente, será liberada una cantidad de agua debido al cambio de densidad del agua en el interior de los poros .

La cantidad de agua, por unidad de volumen, que es almacenada o liberada debido a la compresibilidad del esqueleto mineral y del agua en los poros cuando se produce un cambio unitario en el nivel de agua en el acuífero es Ss y se denomina Coeficiente de Almacenamiento Específico o Elástico y se usa tanto en acuíferos confinados como no confinados.

$Ss = \rho \cdot g \cdot (\alpha + m \cdot \beta)$ donde ρ es la densidad del agua , g es la aceleración de gravedad , α es la compresibilidad del esqueleto del acuífero , m es la porosidad, y β es lacompresibilidad del agua (1/(M/LT2)). El almacenamiento específico tiene unidades de 1/L.

Este mecanismo explica el agua que puede extraerse de un acuífero confinado sometido a régimen variable, sin que el mismo se "vacíe", es decir se sigue manteniendo el mismo espesor saturado.

Dinámica de las Aguas Subterráneas
Condiciones de equilibrio durante la explotación de un acuífero

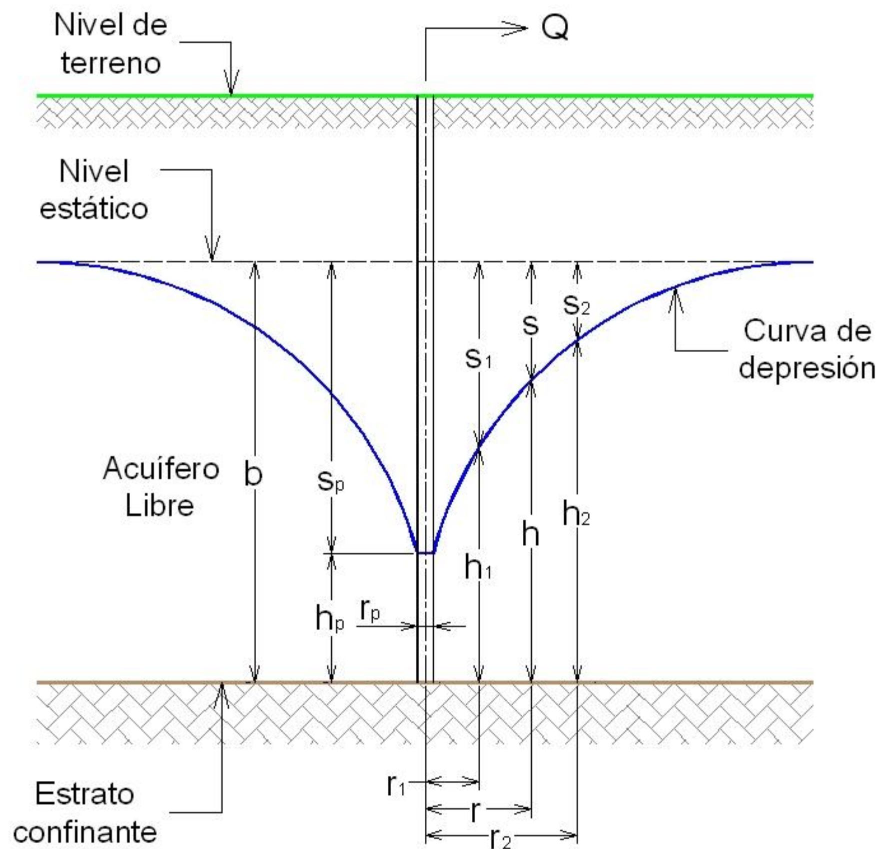
- ❑ Caudal de extracción uniforme y continuo (flujo permanente)
- ❑ Escurrimiento radial y laminar
- ❑ El pozo explota todo el espesor del acuífero
- ❑ El acuífero es homogéneo, de igual permeabilidad en cualquier dirección(Isotropía). No se encuentra estratificado.
- ❑ El área de aporte al pozo es infinita.
- ❑ El pozo tiene una eficiencia perfecta (100%).
- ❑ La superficie freática y/o piezométrica iniciales son horizontales.

y se observa que el nivel dinámico no se modifica:

El acuífero posee una recarga natural que equilibra la extracción.

Cuando se bombea desde un acuífero en el pozo se establece el cono de depresión cuyas dimensiones van en aumento hasta que transcurrido cierto tiempo, el bombeo continua y el cono se estabiliza, no aumenta la depresión ni se extiende el radio de influencia.
En ese momento se ha alcanzado el equilibrio y ello se debe a que el cono de depresión interceptó un área de recarga tal que el caudal que ingresa al acuífero compensa el caudal extraído.
La recarga se puede deber a un cuerpo de agua superficial o por haber interceptado otro acuífero. Otra forma es que provenga del agua retenida en el estrato superior confinante. Estos si bien son de muy baja permeabilidad al estar en contacto en una gran superficie pueden aportar un caudal considerable por percolación vertical.

ACUIFERO LIBRE



Por Darcy: $$Q = A \times K \times I$$ $$I = \frac{dh}{dr}$$

Genéricamente: $$A = 2 \times \pi \times r \times h$$

Por consiguiente es: $$Q = 2 \times \pi \times r \times h \times K \times \frac{dh}{dr}$$

Despejando e integrando: $\int_{r1}^{r2} \frac{dr}{r} = \frac{2\pi K}{Q} \times \int_{h1}^{h2} hdh$ resulta:

$$Q = \frac{\pi \times K \times (h_2^2 - h_1^2)}{\ln(\frac{r_2}{r_1})}$$

Hipótesis adicional: con r_1 y r_2 suficientemente grande: s_1 y s_2 serán despreciables frente a b espesor de la zona saturada, la ecuación queda h1=h2=b y resulta :

Resulta: $h_1 + h_2 = 2b$ y $h_2^2 - h_1^2 = (h_1 + h_2) \times (h_2 - h_1) = 2b \times (h_2 - h_1)$

y $h_2 - h_1 = s_1 - s_2$

Finalmente queda:

$$Q = \frac{2 \times \pi \times K \times b \times (s_1 - s_2)}{\ln(\frac{r_2}{r_1})}$$

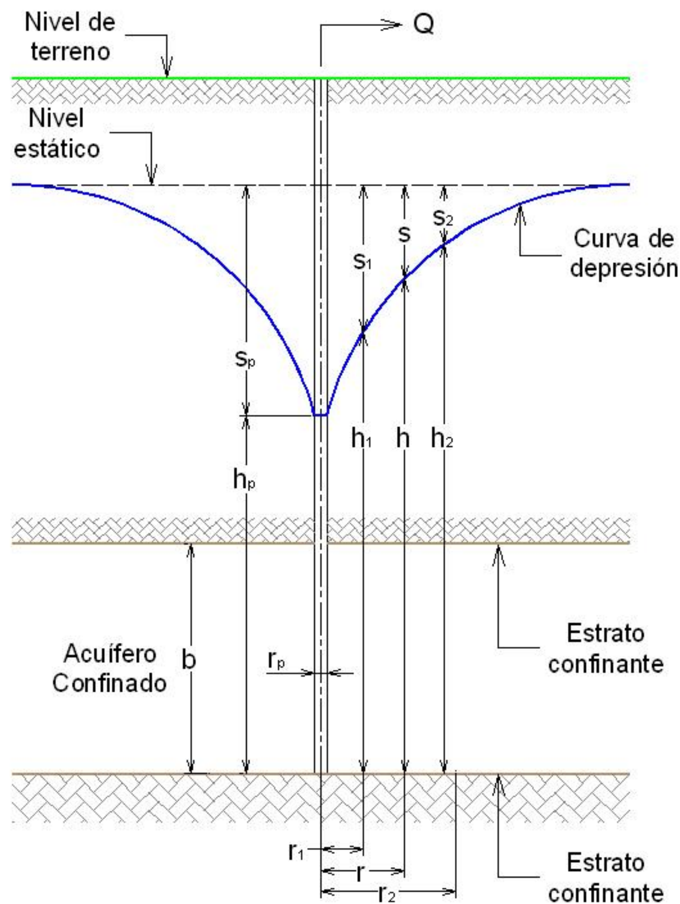
Esta forma de expresarlo remite a parámetros como las depresiones que se miden directamente en los pozos de observación.

Si se desea determinar K:

$$K = \frac{Q}{2\pi b(s_1 - s_2)} \times \ln \frac{r_2}{r_1}$$

Es decir que con un ensayo de bombeo a un caudal Q constante y con dos pozos de observación ubicados a distancias r1 y r2 del pozo de explotación, en los que se miden, una vez alcanzado el equilibrio, abatimientos s1 y s2 respectivamente, se puede determinar K.

ACUIFERO CONFINADO



por Darcy: $Q = A \times K \times I$

El área de aporte es: $A = 2 \times \pi \times r \times b$ el gradiente es: $I = \frac{dh}{dl}$

Resulta: $Q = 2 \times \pi \times r \times b \times K \times \frac{dh}{dr}$

Integrando la forma dr/r, resulta:

$$Q = \frac{2\pi \times b \times K \times (h_2 - h_1)}{\ln(\frac{r_2}{r_1})}$$

Diferencia: antes h era una altura variable ya que el nivel de saturación en correspondencia con el pozo desciende, pero ahora b es un espesor constante ya que la altura de aporte no varía (el acuífero no se vacía).

Siendo: $h_1+s_1= h_2 + s_2$ y $h_2 - h_1 = s_1 - s_2$
Resulta:

$$Q = \frac{2 \times \pi \times K \times b \times (s_1 - s_2)}{\ln(\frac{r_2}{r_1})}$$

Si se desea determinar K:

$$K = \frac{Q}{2\pi b(s_1 - s_2)} \times \ln \frac{r_2}{r_1}$$

Es decir que con un ensayo de bombeo a un caudal Q constante y con dos pozos de observación ubicados a distancias r1 y r2 del pozo de explotación, en los que se miden, una vez alcanzado el equilibrio, abatimientos s1 y s2 respectivamente, se puede determinar K.

Recordar que K x b = T (coeficiente de transmisividad).

Dinámica de las Aguas Subterráneas

Condiciones de no equilibrio durante la explotación de un acuífero

- ✓ Caudal de extracción uniforme y continuo
- ✓ Cuando se bombea el escurrimiento es radial y laminar
- ✓ El pozo explota todo el espesor del acuífero
- ✓ El área de aporte al pozo es infinita y la formación del acuífero es horizontal (no hay flujo natural).
- ✓ Acuífero homogéneo de igual permeabilidad en cualquier dirección(isotropía).
- ✓ El agua extraída no vuelve a ingresar al acuífero.
- ✓ El diámetro del pozo es despreciable.

Se observa que el nivel dinámico se modifica con el tiempo.

Conclusión: El acuífero <u>no</u> posee una recarga natural que equilibra la extracción.

El escurrimiento radial no se verifica de manera estricta en el acuífero libre (adonde las líneas de flujo siguen la forma de la piezométrica) pero se acepta esta hipótesis en tanto y en cuanto los abatimientos o depresiones no superen el 10% del espesor saturado inicial.

Que la superficie piezométrica inicial sea horizontal quiere decir que no hay flujo inicial.

Que el diámetro del pozo sea despreciable es porque no se considera el agua almacenada en el mismo.

En todos los casos se considera que el pozo capta agua de todo el espesor del acuífero.

Dinámica de las Aguas Subterráneas

Condiciones de no equilibrio – Fórmula de Theis

- Tienen en cuenta el efecto del tiempo de bombeo
- Se puede predecir el abatimiento en cualquier momento una vez iniciado el bombeo.
- La transmisividad y la permeabilidad promedio pueden determinarse desde las primeras etapas del bombeo sin esperar a que los niveles de los pozos de observación se hayan estabilizado o sea a que se haya alcanzado el equilibrio.
- Con un solo pozo de observación es suficiente.
- **<u>Fórmula de Theis</u> (1935):**

$$s = h_0 - h = \frac{Q}{4\pi \times T}\int_u^{\infty}\frac{e^{-u}}{u}du$$

$$u = \frac{r^2 \times S}{4 \times T \times t}$$

$$Wu = \int_u^{\infty}\frac{e^{-u}\,du}{u}$$

Donde:
u=argumento de la función de pozo
Wu=función de pozo
s= descenso del nivel en un punto del acuífero ubicado a distancia r del pozo (m)
ho=altura piezométrica inicial (m)
h= altura piezométrica después de un tiempo de bombeo t (m)
Q= caudal constante de bombeo (m3/dia)
T=transmisividad del acuífero (m2/dia)
S=coeficiente de almacenamiento(adimensional)
t= tiempo medido desde que se inicia el bombeo a caudal Q (dias)
r= distancia medida desde el pozo de bombeo a un punto de descenso s (m)

La expresión para régimen variable o de no equilibrio, fue elaborada a partir de la similitud entre el flujo del agua y el flujo de calor, estudiando el flujo radial del calor en una placa metálica.
u no es una variable que tenga significado físico, sólo se trata de una abreviatura en la fórmula. Su resultado es adimensional.
W(u) es una función compleja que se denomina “función de pozo” W por well, pozo en inglés.
La solución de la integral que da W(u) se tabula en función de u.

Ver en el Anexo una tabla con los valores más frecuentes.

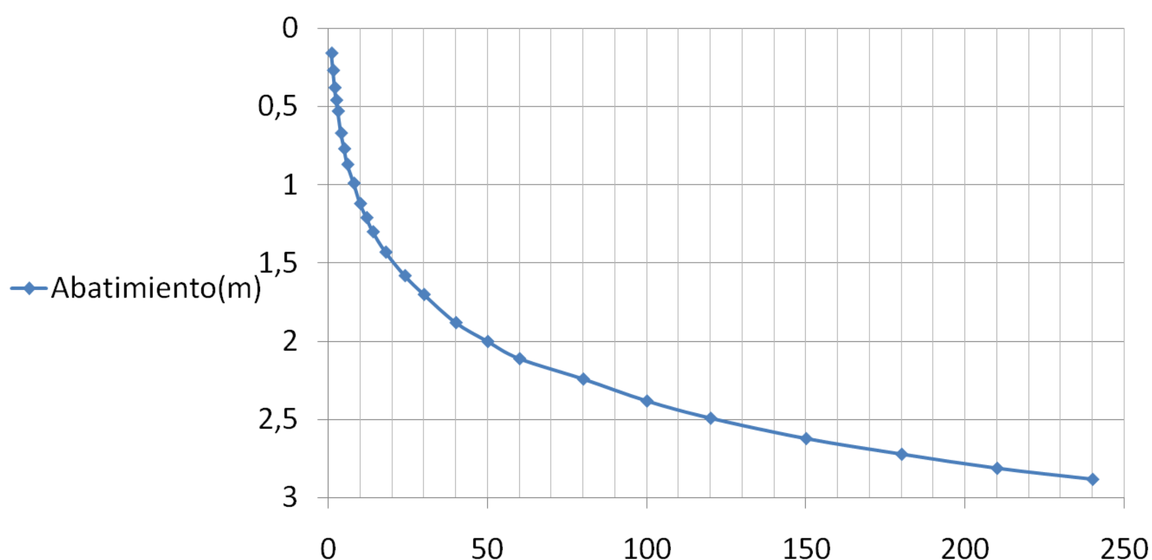
FORMULA DE JACOB

Jacob en 1946 dedujo que para valores de tiempos t de bombeo grandes y r pequeños, la expresión de Theis podía modificarse tal que:

$$s = 0{,}183 \times \frac{Q}{T} \times \log \frac{2{,}25 \times T \times t}{r^2 \times S}$$ Fórmula de Jacob (o Cooper- Jacob)

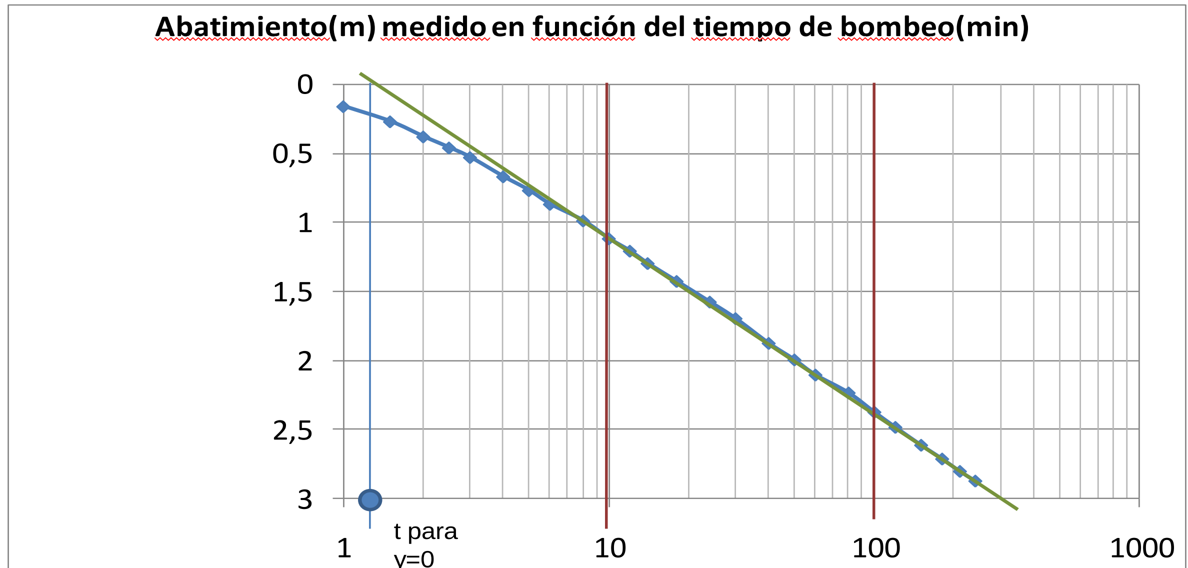
No es una fórmula aplicable a los primeros tiempos del bombeo.
Para valores de u menores de 0,05 la formula de Jacob reproduce prácticamente los valores de la fórmula de Theis.
Si se bombea caudal Q constante, los valores de S y T son constantes, la fórmula de Jacob muestra que s varía directamente con el log t/r^2.
Se pueden entonces establecer dos principios:

1. En un acuífero determinado y para un sitio determinado (r constante), s y t son las únicas variables de la fórmula de Jacob. En este caso $s=f(\log K_1 t)$.
2. En un acuífero determinado y para un valor de t, los términos s y r constituyen las únicas variables de la fórmula de Jacob. Entonces es: $s= f(\log K_2/r^2)$.



Dinámica de las Aguas Subterráneas

Relación tiempo de bombeo - abatimiento



31

Cuando se lleva la curva abatimiento en función del tiempo en escala logarítmica de un ensayo de bombeo a Q constante, se obtiene una recta (si se desechan los primeros minutos). En consecuencia se puede obtener la transmisividad T a partir de la expresión:

$As = s' - s = \frac{0{,}183xQ}{T}$ que se puede deducir de la fórmula de Jacob si se miden los descensos en tiempos que difieran en un factor de 10 ya que:

$\Delta s = \frac{0{,}183 \times Q}{T} \times (\log \frac{2{,}25 \times T \times 10t}{r^2 \times S} - \log \frac{2{,}25 \times T \times t}{r^2 \times S})$ la diferencia de logaritmos es igual a 1, en consecuencia T es:

$$T = \frac{0{,}183xQ}{\Delta s}$$

Y el coeficiente de almacenamiento S se puede hallar haciendo s=0 en la fórmula de Jacob y determinando en el diagrama el tiempo correspondiente (para y=0 y adonde la recta del diagrama corta al eje x). Entonces será:

$0 = \log \frac{2{,}25 \times T \times t}{r^2 \times S}$ por consiguiente: $1 = \frac{2{,}25 \times T \times t}{r^2 \times S}$ y $S = \frac{2{,}25 \times T \times to}{r^2}$

Es decir que con un ensayo de bombeo se puede determinar T y S.

Ejercicio:

Para la aplicación de la fórmula de Theis.

Se extraen de un pozo: Q=50 m3/h ó Q=1200 m3/dia
Profundidad del pozo es: p= 60 m
Diámetro del pozo Ø=0,200m (8”)
Profundidad hasta el filtro: pf=50 m
Longitud del filtro h=10 m es el espesor del acuífero
Nivel estático: n=15 m
Transmisividad: T=150 m3/dia.m
Coeficiente de almacenamiento S=5 x 10 $^{-4}$
Queremos predecir el abatimiento del pozo para una operación contínua de 45 días y suponemos que no se verifica en ese plazo recarga.

Según Theis:

$$S = \frac{Q}{4\pi \times T} \int_u^\infty \frac{e^{-u} du}{u}$$

$$u = \frac{r^2 \times S}{4 \times T \times t}$$

$$Wu = \int_u^\infty \frac{e^{-u}}{u} du$$

Calculamos $u = \frac{0{,}100^2 \times 5 \times 10^{-4}}{4 \times 100 \times 45} = 1.85 \times 10^{-10}$

Con u vamos a la tabla teniendo en cuenta que N=1,85 (interpolamos entre 1,8 y 1,9) y obtenemos el valor de Wu= 21,83

En consecuencia el abatimiento $s = \frac{1200}{4 \times \pi \times 150} \times 21{,}83$

s= 13,90 m y el nivel dinámico será ND= 13,90 + 12 = 28,90 m

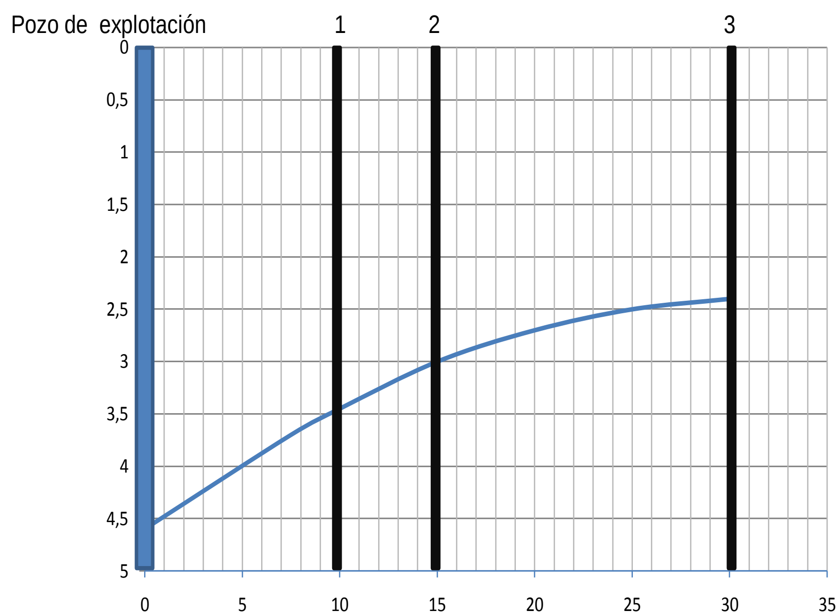
Dato esencial para el diseño del pozo, ya que la profundidad de instalación del cuerpo de la bomba está íntimamente relacionada con este nivel y que el diámetro del ademe o camisa, debe permitir que dicho cuerpo descienda hasta esa profundidad.

Un parámetro que se emplea a menudo es la capacidad específica o caudal por metro de descenso. En este caso y mientras que no cambiemos las dimensiones del pozo o los parámetros hidrogeológicos del acuífero, se mantiene prácticamente constante, declinando ligeramente con el bombeo prolongado (y sin recarga).

Dinámica de las Aguas Subterráneas

Observación del cono de depresión – Relación abatimiento y distancia al pozo

Con los pozos de observación 1,2 y 3 ubicados a 10, 15 y 30 m se determina la forma del cono de depresión.
DEPRESION (eje y en metros) - DISTANCIA AL EJE DEL POZO DE EXPLOTACION(eje X en m)



Caudal constante: 45 m3/h
Niveles medidos simultáneamente a un tiempo de bombeo de 500 min

23

ANALISIS DE LA INFLUENCIA DE LOS DISTINTOS PARÁMETROS EN UNA PERFORACIÓN

Caso N°	**1**	2	3	4	5	6	7	8	9
Q (m3/h)=	**60**	**120**	60	60	60	60	60	60	60
Q(m3/dia)=	**1440**	2880	1440	1440	1440	1440	1440	1440	1440
N. estático(m)	**12**	**12**	**12**	**12**	**12**	**12**	**12**	**12**	**12**
Ø/2(m)=	**0,15**	0,15	**0,30**	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
S=	**0,0001**	0,0001	0,0001	0,0001	**0,0002**	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
T(m3/dia.m)=	**150**	150	150	**300**	150	150	150	150	150
t(dias)=	**30**	30	30	30	30	**60**	**120**	**180**	**360**
u=	1,25 *10^$^{-10}$	1,25 *10^$^{-10}$	5 *10^$^{-10}$	6,25 *10^$^{-11}$	2,5 *10^$^{-10}$	6,25 *10^$^{-11}$	3,125 *10^$^{-11}$	2,083 *10^$^{-11}$	1,041 *10^$^{-11}$
N=	**1,25**	1,25	5	6,25	2,5	6,25	3,12	2,08	1,04
Wu=	**22,22**	22,22	20.84	22,91	21,53	22,91	23,62	24,06	24,75
s (m) =	**16,97**	33,95	15,92	8,75	16,45	17,5	18,04	18,38	18,91
s/si (%)	**0**	**200%**	**94%**	**52%**	**97%**	**103%**	**106%**	**108%**	**111%**
Q/s (m3/h.m)	3,53	3,53	3,77	6,86	3,65	3,43	3,33	3,26	3,17
N.dinámico(m)	28,97	45,95	27,92	20,75	28,45	29,5	30,04	30,38	30,91

Vale la pena detenerse en el análisis de cómo influye cada uno de los parámetros hidrogeológicos y el propio diseño del pozo en su operación posterior.

El Caso 1 es el enunciado en el problema y como resultado final vemos que el nivel dinámico de bombeo es de 32,45 m. En el caso 2 se advierte la enorme influencia que tiene duplicar el caudal y de hecho como veremos más adelante este pozo no puede funcionar en estas condiciones. El Caso 3

muestra la escasa influencia que tiene duplicar el diámetro del pozo. En realidad como veremos existe otro aspecto que es el aumento del diámetro del filtro que si posee mayor relevancia al disminuir las pérdidas de carga en el pozo. El Caso 4 muestra la importancia de duplicar la Transmisividad. En cambio el Coeficiente de Almacenamiento S posee una influencia menor según se aprecia en el Caso 5. En el resto de los casos se muestra la influencia del tiempo que no resulta tan significativa.

Cabe aclarar que en el cuadro que antecede, se compara con valores constantes de T y S y sin recarga del acuífero.

A continuación se expresa valores recomendados (se deben considerar sólo como una guía) para diámetros de las entubaciones, tomados de Ground Water Development Course de la Universidad de Minnesota y en la columna de la derecha los propuestos, con criterio conservador, en la explotación del acuífero Puelche en Argentina:

Diámetro(*)	Universidad de Minnesota	Acuífero Puelche
6”	<22 m3/h	hasta 30 m3/h
8”	17 a 40 m3/h	hasta 50 m3/h
10”	35 a 90 m3/h	hasta 60 m3/h
12”	80 a 150 m3/h	hasta80m3/h (**)
14”	140 a 200 m3/h	
16”	190 a 300 m3/h	

(*) El diámetro de la tubería en cuyo interior se instala el cuerpo de bomba.
(**) Los caudales se deben limitar en razón de evitar la sobreexplotación del acuífero. No existen límites reglamentarios.

PERDIDAS EN EL POZO

- Las pérdidas de carga propias del pozo son:

$$s_f = c \times Q^2$$

- El abatimiento total será:

$$s_p = \frac{Q}{2 \times \pi \times P \times b} \times \ln \frac{r_o}{r_p} + C \times Q^2$$

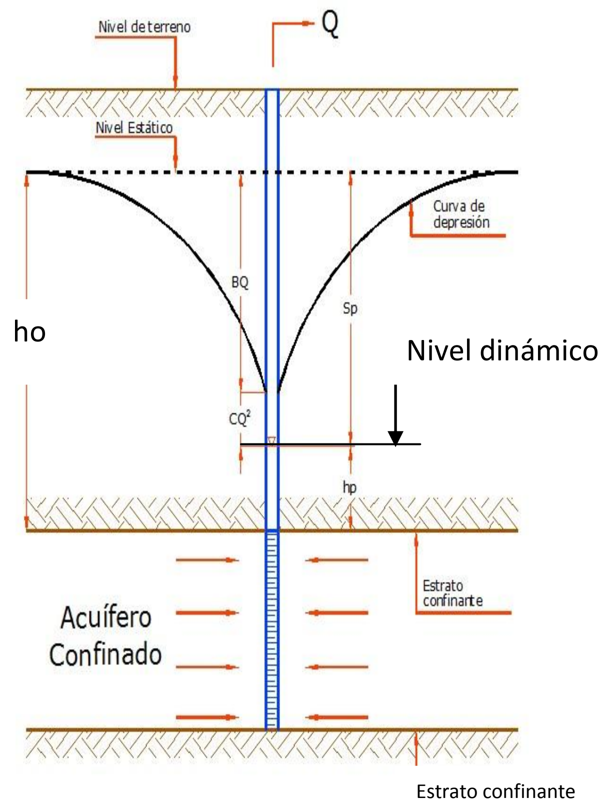
- Haciendo:

$$B = \frac{\ln \frac{r_o}{r_p}}{2 \times \pi \times P \times b}$$

- Quedará finalmente:

$$s_p = B \times Q + C \times Q^2$$

Como puede apreciarse mientras que las pérdidas de carga por circulación en el medio poroso son proporcionales al caudal, las debidas a la estructura de la propia captación son proporcionales al cuadrado del caudal.



Dinámica de las Aguas Subterráneas
EFECTO DE LAS CONDICIONES REALES

- RECARGA POR UN RIO
- RECARGA POR INFILTRACION VERTICAL
- SUPERFICIE FREATICA INCLINADA
- INTERFERENCIAS CON OTROS POZOS
- EFICIENCIA DEL POZO – FACTORES DE CONSTRUCCIÓN:
  Desarrollo,
  Colocación de la rejilla
  Penetración parcial del acuífero.

Cuando se bombea un pozo de agua, se establece como ya se vio, un cono de depresión que se va extendiendo conforme avanza el tiempo de bombeo. En la práctica se observa que en determinados momentos se establece el equilibrio y el cono se estabiliza. En ese momento se compensa la extracción con la recarga que recibe el acuífero explotado, sea porque el cono se ha extendido hasta interceptar una corriente o reservorio de agua superficial u otra capa de agua o bien porque el fenómeno de recarga por percolación vertical desde los estratos confinantes, dada la gran extensión del cono y pese a la baja permeabilidad de ese tipo de estratos, equilibra el caudal que se bombea.

Si bien desde el punto de vista de los niveles piezométricos del acuífero puede resultar beneficiosa esta recarga, dado que la misma se produce desde otra fuente, puede verse alterada la calidad del agua sea en el sentido de aumentar o disminuir el tenor salino o favorecer el ingreso al acuífero explotado de sustancias contaminantes.

Una situación muy frecuente es la de interferencia con otros pozos. Los respectivos conos de depresión se superponen en determinado momento del bombeo y en tal caso se potencian los abatimientos respectivos. Es frecuente que se comience a bombear desde una perforación cuando uno o más pozos se encuentran bombeando en el área de influencia y en tal caso el nivel estático que se mida en esa perforación es en realidad un nivel artificialmente determinado por las influencias de las demás perforaciones. Este

fenómeno es particularmente importante en las áreas sometidas a una fuerte explotación en donde se establecen conos de depresión permanentes, que deprimen artificialmente los niveles piezométricos en toda el área y terminan por provocar una serie de problemas como se verá al analizar el fenómeno de la sobre explotación de un acuífero.

La pendiente de la superficie piezométrica, poco evidente y de efecto imperceptible en los acuíferos de llanura, generada por el movimiento del agua del acuífero en una dirección, distorsiona el cono de bombeo tendiendo a deformar la base circular hacia una forma elíptica.

Un análisis particular merece la influencia que ejercen los factores de construcción del pozo sobre la eficiencia del mismo. Se analizó antes que las pérdidas de carga son proporcionales al cuadrado del caudal y la constante de proporcionalidad puede variar ampliamente dependiendo de la forma constructiva, materiales empleados (en especial tipo de filtro o rejilla empleado) y conocimiento del personal encargado de la construcción. Otro factor esencial es el nivel de desarrollo alcanzado en el pozo antes de efectuar los ensayos.

Cuando la unidad de filtrado no abarca la totalidad del espesor del acuífero se altera el flujo radial puro y se producen líneas de flujo curvas que son trayectorias de partículas de agua que al recorrer mayores distancias provocan mayores pérdidas de carga, las cuales se traducen en un mayor abatimiento o descenso del nivel piezométrico dinámico.

Recarga artificial:

Al contrario de los mecanismos de recarga antes descriptos, que se verifican naturalmente o bien indirecta o involuntariamente por la acción del hombre, se ha puesto en práctica en diversos lugares del mundo, la recarga artificial de los acuíferos.
La motivación es en general la de evitar la de evitar la degradación del recurso, en ocasiones por falta de agua en el mismo pero más a menudo por disminución de su calidad como agua útil o potable.

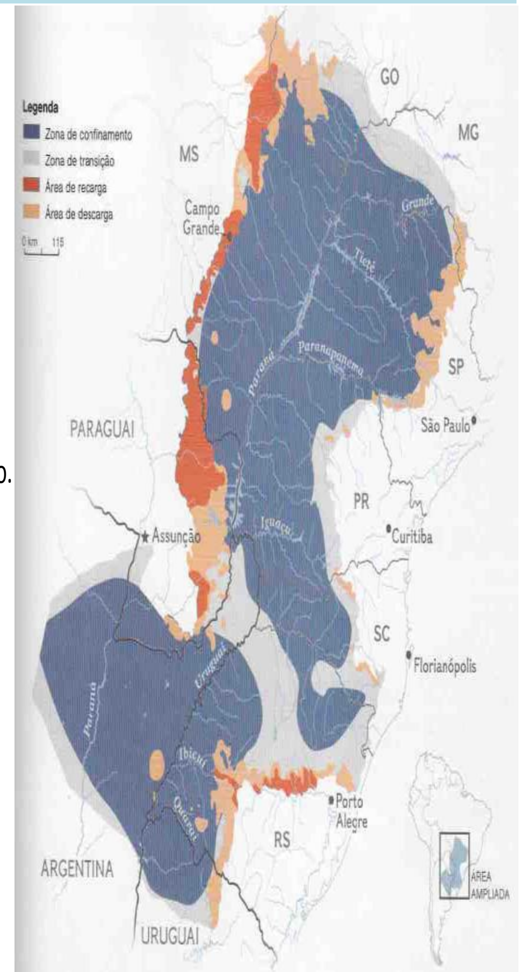
El ejemplo más comúnmente observado de recarga artificial, es el de los acuíferos costeros al mar en donde el riesgo de la intrusión salina es muy alto. Al generar una barrera de agua dulce, elevando el nivel estático del acuífero, se impide el ascenso del agua salada subyacente. Ver más adelante la descripción del principio o fenómeno de Ghyben – Herzberg que explica teóricamente la situación que se da en los acuíferos de agua dulce en contacto con el agua salada del mar.
En ocasiones se ha empleado agua de baja calidad como la de ciertos efluentes pre-tratados. Este tipo de acciones debe ejecutarse con extrema precaución, verificando las características de las formaciones del subsuelo y evaluando cuidadosamente los efectos positivos y negativos de la recarga. Los riesgos de provocar una contaminación generalizada del acuífero suelen ser elevados.

2.1 Dinámica de las Aguas Subterráneas

Ejemplos de grandes acuíferos en el mundo

Guaraní: Brasil, Argentina, Paraguay, Uruguay

El acuífero guaraní es una reserva subterránea que ocupa aproximadamente 1.200.000 Km² en América del Sur, ubicada entre los 12º y 35º de latitud sur y los 47º y 65º de longitud oeste. Conformado por areniscas de 50 a 800 m de espesor . Se estima que se formó entre 245 y 144 millones de años atrás. En Brasil abarca unos 840.000 km² ; en Argentina unos 225.500 km²; en Paraguay unos 7 1.700 km² y en Uruguay abarca unos 58.500 km² .
El territorio ocupado por el acuífero posee una población del orden de 23 millones de habitantes, más del 50% de los cuales se abastecen del mismo.
El Proyecto para la Protección Ambiental y Desarrollo Sostenible del SAG (Sistema Acuífero Guaraní) comienza a ejecutarse en 2003, con el financiamiento del Fondo Mundial para el Medio Ambiente (GEF), el Banco Mundial y la Organización de los Estados Americanos (OEA), a fin de realizar estudios sobre el acuífero, nivelar el conocimiento del mismo en los cuatro países que lo comparten y avanzar así en su uso y manejo sustentable.
Es un proyecto preventivo y el primero en instrumentarse con financiación internacional.



Prensa Institucional UNL. Dirección de Comunicación Universidad Nacional del Litoral - Argentina

64

2.1 Dinámica de las Aguas Subterráneas
Ejemplos de grandes acuíferos en el mundo

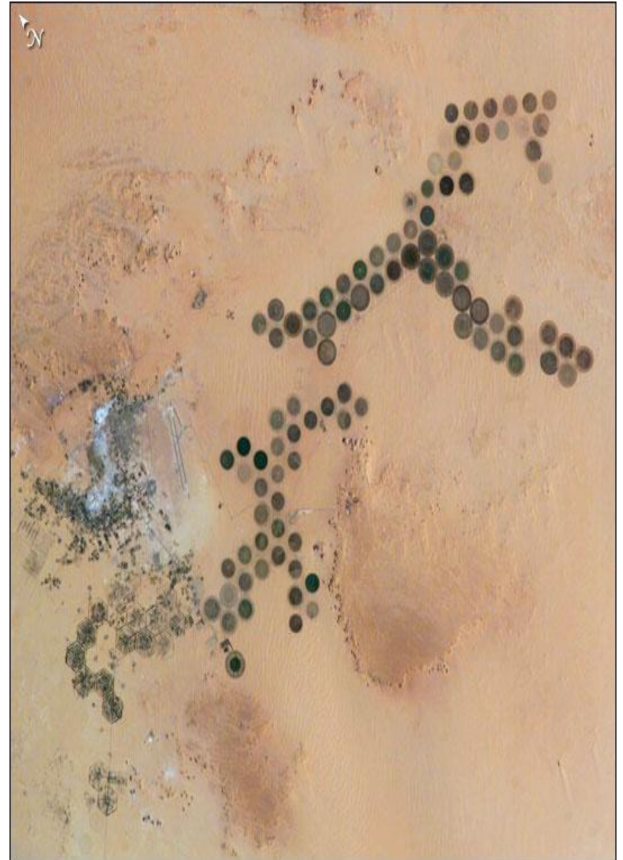
Ogallala: Altas planicies del Medio Oeste de EE.UU.



En explotación crecientemente intensa desde 1940.
Actualmente hay más de 75.000 pozos para riego.
Está constituido por depósitos aluvionales de hasta 125 m de espesor sobre el basamento rocoso.
La granulometría de su formación es muy variable tanto en sentido horizontal como vertical. Se hacen pozos de Prueba para comprobar la factibilidad de lograr los caudales necesarios.
Su recarga decrece de norte a sur (Nebraska del orden de 130 mm de lámina líquida por años y en Texas no más de 25 mm). Se explota principalmente para riego. En algunas partes la extracción supera 10 veces a la recarga.
Una estimación indica que se han extraído desde 1940 a 1980 $5{,}07 \times 10^{11}$ m^3 y que se disminuyó la reserva en $1{,}96 \times 10^{11}$ m^3 el resto fue repuesto por la recarga.

65

2.1 Dinámica de las Aguas Subterráneas
Ejemplos de grandes acuíferos en el mundo



Areniscas de Nubia

Es el mayor acuífero de agua fósil del mundo, esto es, la mayor reserva de agua subterránea no reabastecida por otras fuentes. Cubre unos 2.000.000 de km² en la parte oriental del Desierto de Sahara, entre Libia, Egipto, Chad y Sudan y se estima que contiene unos 150.000 a 450.000 km³ de agua.

Extendiéndose casi totalmente sobre un área desértica o árida, el acuífero tiene una enorme importancia potencial en el desarrollo de los países que abarca.
El proyecto más ambicioso acometido hasta la fecha es el llamado Gran Río Artificial en Libia. Este proyecto consiste en la extracción de agua para irrigar diversas explotaciones agrícolas, principalmente el oasis de Al-Qufra así como en el suministro mediante grandes canalizaciones a las zonas costeras de Libia que tienen un suministro natural de agua muy limitado. Asimismo,desde 2001 se está llevando a cabo en el sur de Egipto un proyecto de recuperación de tierras desertificadas en el sur, cerca de la zona de Abu Simbel.

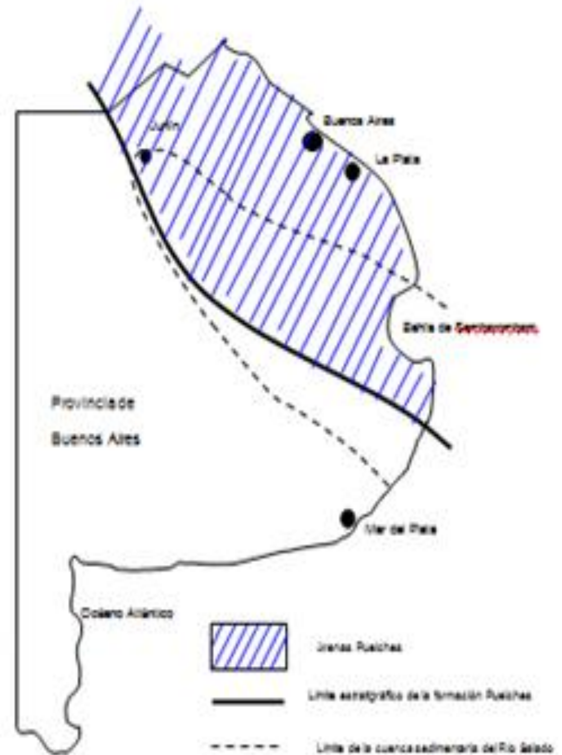
66

Estudios recientes (New York Times, dic.2011) efectuados por la Universidad de Illinois, con el isótopo radiactivo Kriptón 81muestran que el acuífero tuvo su inicio hace un millón de años. Alimenta los oasis del Sahara, gran parte de los cuales ya se han secado, al igual que el Lago Kufra en Libia, que sin embargo tan recientemente como en 1920 fue fotografiado por National Geografic con su máximo nivel. Su recarga es de sólo unos milímetros anuales (muy inferior a la extracción de agua que se hace del mismo), razón por la cual se habla de “aguas fósiles”.

2.1 Dinámica de las Aguas Subterráneas

Ejemplos de grandes acuíferos en el mundo

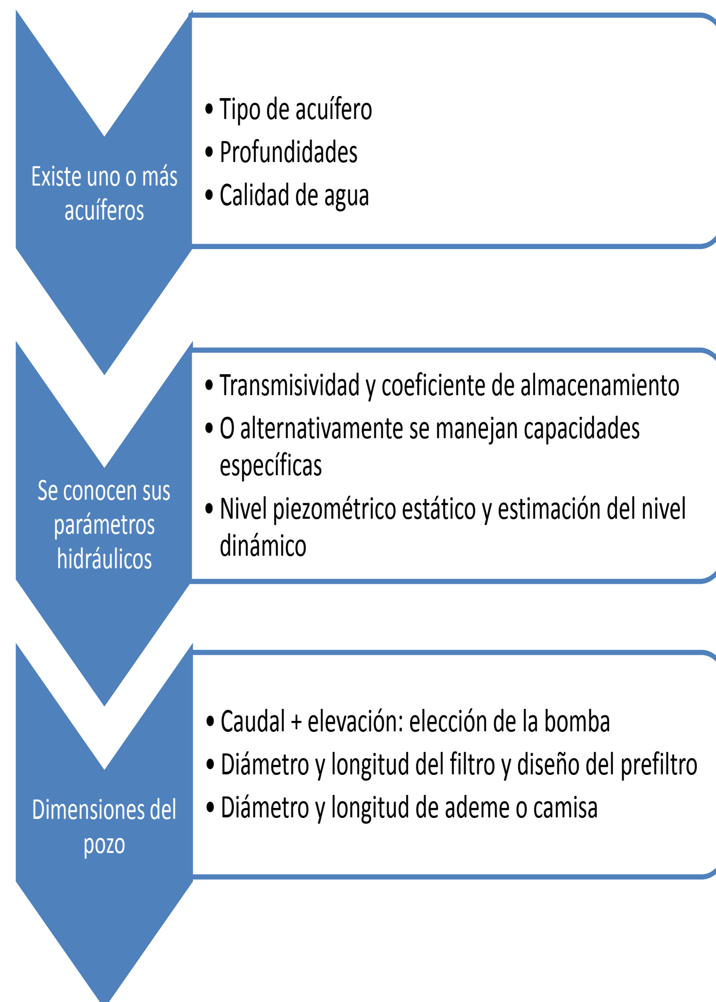
Puelche o Puelches: es un acuífero de gran extensión (aprox.83.000Km2 en la Provincia de Buenos Aires, Argentina) subyacente con el área más densamente poblada del país (un tercio de toda su población), la calidad natural de sus aguas con un tenores de sales totales del orden de 0,5 a 2 mg/L y la escasa profundidad a que se encuentra (su techo se ubica entre los 40 y los 70 m) han permitido su explotación masiva y el desarrollo de la región tanto en lo referente a la población como a las industrias que se afincaron a favor de su disponibilidad. El uso se hizo, por medio de perforaciones individuales cuando faltaban las obras de distribución de agua.
La sobre explotación y la contaminación causada por la falta de tratamiento de los efluentes industriales y domésticos lo han contaminado aunque en muchos sitios posee aún agua potable. El volumen de agua que acumula podría satisfacer a la población de la Argentina con 200 L/dia a toda (tomando 36.000.000 hab) durante 50 años y ello considerando que sólo el 45% de sus reservas sean aptas para consumo (menor de 2 g/L de sólidos totales) y sin considerar además la recarga que sin duda tiene el acuífero y que es muy significativa.



67

2.2 DISEÑO DE POZOS DE AGUA

PASOS DEL DISEÑO PARTIENDO DE LA POSIBILIDAD A LOS REQUERIMIENTOS



La secuencia propuesta comienza por la certeza de la existencia del acuífero que se va a explotar y la calidad del agua contenida en el mismo. Sigue por el conocimiento de los parámetros hidráulicos principales de ese acuífero (todo ello por experiencia o estudios hidrogeológicos previos).

Hasta aquí queda definida la "posibilidad" y recién entonces se aboca a plantear los "requerimientos" en cuanto a caudal (compatible con la

"posibilidad") y altura manométrica que deberá entregar la bomba que se emplee con lo cual se selecciona la misma (ver Equipos de bombeo empleados en perforaciones) y recién entonces se aboca a establecer las dimensiones del pozo, las cuales se definirán como veremos de abajo hacia arriba (estrictamente cierto en el caso de una captación con filtro).

DISEÑO DE POZOS DE AGUA

- Desde la posibilidad hacia la necesidad : se conocen las características hidrogeológicas de la región y el pozo se diseña a partir del caudal requerido y luego de las dimensiones de la bomba que se vaya a emplear, seleccionada por el Q y la AMT de diseño (requeridos o posibles).
- De abajo hacia arriba: el filtro o rejilla se define, en diámetro y longitud, conociendo las características hidrogeológicas y el Q de diseño. Posteriormente puede completarse el diseño del pozo hacia la superficie.

Hay certeza de la existencia de un acuífero

Profundidades: se deben conocer las profundidades del techo y piso del acuífero. Resulta también importante conocer el espesor de los estratos confinantes.
Tipo de acuífero: situación (presencia de estratos confinantes, material que lo constituye, granulometría, estabilidad de las distintas formaciones, etc.).
Calidad de agua: del acuífero a explotar y de otros acuíferos supra o subyacentes que eventualmente deban aislarse.

Se conocen los parámetros hidráulicos del acuífero a explotar

- Transmisividad y coeficiente de almacenamiento.
- O alternativamente se manejan capacidades específicas.

Resulta esencial conocer cuál será el rendimiento estimado del pozo en función de las características hidrogeológicas mencionadas. Un parámetro manejado a menudo por los perforistas es la capacidad específica que les permite estimar el descenso o depresión que sufrirá la perforación a partir del caudal requerido. Este descenso está limitado por varios factores y preferentemente debe evitarse que el cono de depresión alcance a la unidad de filtrado o rejilla, para evitar que parte de la misma, al quedar descubierta, deje de actuar como superficie de aporte de agua a la captación.

- Nivel piezométrico estático:

Permite estimar, conjuntamente con las consideraciones planteadas en el punto anterior el nivel dinámico, parámetro fundamental para definir la bomba y los diámetros de los entubados. En ocasiones estas medidas condicionan también las dimensiones del filtro del pozo.

Dimensiones del pozo:

Se completa su definición a partir de los datos anteriores con:

- Caudal + elevación: permiten la elección de la bomba

El caudal y la altura manométrica total AMT (suma de la profundidad del nivel dinámico de bombeo más la elevación y las pérdidas de carga), permiten seleccionar la bomba. Sus dimensiones condicionan al pozo, al establecer un diámetro mínimo (y para algunas bombas un diámetro máximo también) de la tubería en cuyo interior se instalará el cuerpo de bomba.

El caudal estará limitado por las condiciones hidrogeológicas mencionadas y por la necesidad de preservar a la captación y al acuífero. En general es preferible construir más de una captación y disminuir el caudal extraído en cada una de ellas. Además así se disminuye el riesgo de una falla general del aprovisionamiento de agua.

La altura manométrica total (AMT) en general puede conseguirse con la misma bomba instalada dentro de la perforación, empero si la elevación es muy grande y ello obliga a incrementar la potencia y el tamaño de la bomba puede ser conveniente que la bomba de pozo sólo haga llegar el agua a la superficie del terreno o poco más y que luego una segunda bomba se encargue de la elevación sobre el nivel del suelo. De esta manera puede hacerse posible además la disminución del tamaño de los entubados del pozo.

- Diámetro y longitud del filtro y diseño del prefiltro

El filtro se define en función del caudal, pero también del espesor de la capa o manto del acuífero.

Los fabricantes de filtros deben informar de su superficie libre o abierta y conviene limitar la velocidad máxima de pasaje del agua a través de las mismas, para por una parte limitar la pérdida de carga (como vimos proporcional al cuadrado del caudal) y por el otro evitar el fenómeno de la deposición de sales (ver Química del Agua Subterránea).

En el filtro se dan dos fenómenos contrapuestos: por un lado la corrosión que tiende a aumentar el área libre si bien las formas irregulares no tienen la misma eficiencia a la hora de evaluar las pérdidas de carga que las formas regulares empleadas por los fabricantes y por el otro la incrustación que actúa en el sentido de disminuir el área libre o abierta.

- Diámetro y longitud de ademe o camisa

La longitud estará definida en el caso de que deba aislarse un acuífero superior, por el perfil litológico. En otros casos se establecerá en función del nivel dinámico de bombeo y la consecuente profundidad de instalación del equipo de bombeo.

Para establecer el diámetro interior habrá que tener en cuenta el tamaño de las tuberías que deban bajarse por su interior y el de la propia bomba, además del requerido para efectuar las maniobras constructivas necesarias.

OTROS FACTORES A CONSIDERAR

- Tener en cuenta la existencia de reglamentos.
  En las distintas jurisdicciones (estados, provincias, municipios) suelen existir reglamentos que establecen características constructivas o restricciones tales como lugar de implantación, caudal a extraer, etc.

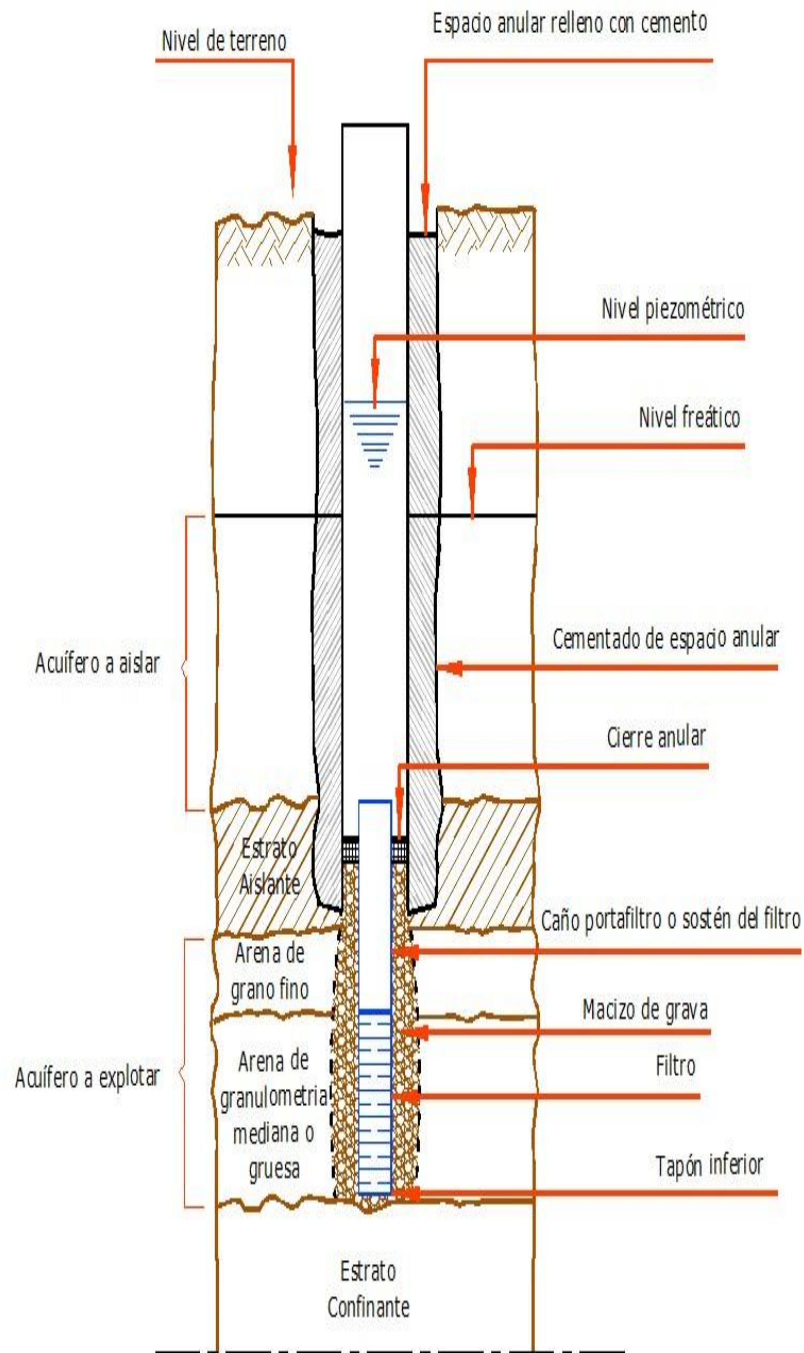
- El uso a que se va a destinar el agua.
  Por ejemplo si el agua no se va a emplear para uso potable es posible explotar acuíferos que no la posean, cuidando en todos los casos de no perturbar a los acuíferos con agua de mejor calidad.

- Las bombas, disponibilidad de energía y los materiales existentes en el mercado local.
  Este factor es esencial en el diseño de un pozo. Por ejemplo hay que verificar la existencia de servicio técnico capacitado para el mantenimiento y las reparaciones que se requieran (repuestos y mano de obra capacitada) accesibles tanto por la ubicación geográfica como por los costos que impliquen.

- Capacidad de la empresa que va a ejecutar los trabajos: personal y equipamiento.
  Siempre se deben verificar los antecedentes de la empresa constructora, evaluando su capacidad y nivel de cumplimiento de los compromisos asumidos.

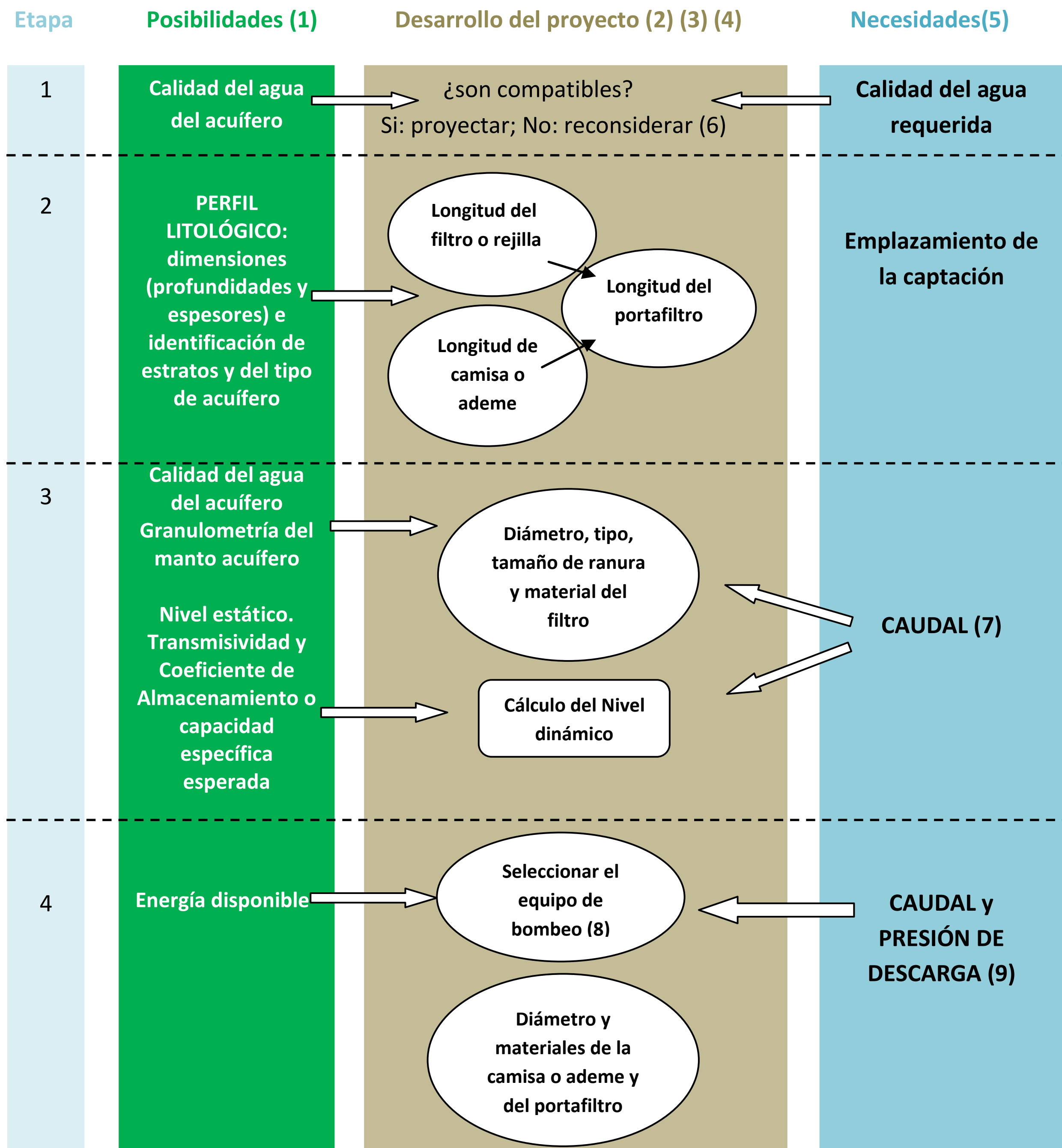
- Espacio existente en el sitio de construcción.
  Tanto para construir como para efectuar tareas de mantenimiento y reparación, se necesita contar con espacio suficiente, sobre el terreno y en elevación.

- En cada paso de la decisión: LOS COSTOS.
  Los ingenieros no deben obviar en cada paso de sus decisiones el factor costo. La solución a adoptar será como siempre de compromiso entre lo mejor de la técnica y los costos tanto iniciales como de operación o explotación.



Pozo artesiano del tipo "telescópico".

DIAGRAMA DISEÑO POZO



(1) Son consecuencia del conocimiento previo: existente o adquirido por medio de estudios ad hoc.
(2) Se deben emplear los valores determinados en una etapa como datos para las siguientes.
(3)Para el “Desarrollo del proyecto” se deben considerar en todo momento la **disponibilidad** de materiales en el mercado, los **aspectos reglamentarios** y los **costos asumidos**.
(4)Para los materiales y la mano de obra empleada: estipular la **vida útil esperada** de la instalación.
(5) Surgen de la modalidad de empleo a la que se destinará el agua.

(6) Reconsiderar el proyecto: ver si es posible emplear el agua natural o efectuar un tratamiento de la misma para adecuarla a las necesidades.
(7) Es el caudal (Q) requerido debe ser compatible con las condiciones hidrogeológicas del lugar o bien adecuarse a las mismas.
(8) La bomba con su curva característica Q-H y dimensiones, accesorios, columna de suspensión, etc.
(9) La presión de descarga es la requerida. Para el cálculo de la altura manométrica total (H) de la bomba se deben considerar además todas las pérdidas y la elevación dentro del pozo.

Como se definen las dimensiones del pozo

Profundidad total del pozo: depende del perfil litológico del terreno (corte del terreno que permite la identificación de las diferentes rocas o estratos constitutivos) en el lugar de emplazamiento. Si está explotando un acuífero confinado o semiconfinado podrá alcanzar como máximo la profundidad del piso de ese acuífero o comienzo del estrato confinante inferior. Sin embargo en otras ocasiones se prefiere alcanzar una profundidad menor a fin de no interesar el manto confinante inferior en cercanías del cual existe en general una zona de transición entre el material de mayor permeabilidad que conforma el acuífero y el de menor permeabilidad del manto confinante. En otras ocasiones y como se verá al tratar de la colocación del filtro, éste se coloca en una posición intermedia dentro del acuífero a fin de aprovechar una zona de mejor permeabilidad, en tal caso la perforación termina relativamente lejos del comienzo del manto confinante.

Entubado, ademe o encamisado: depende del perfil litológico del terreno. Si se desea explotar un acuífero confinado o semiconfinado que posee por encima otra acuífero que carezca de interés o bien deba aislarse en razón de la calidad inadecuada del agua que posee, deberá entubarse o encamisarse (con un tubo o ademe) la totalidad del mismo y gran parte del estrato aislante que exista entre ambos. La misma situación puede presentarse en caso de que los estratos de terreno superiores sean inestables. El diámetro de esta tubería será tal que permita el descenso por dentro de la misma de los tubos que ocuparán las porciones inferiores del pozo, incluyendo al filtro o rejilla y que exista el espacio suficiente para maniobras tales como construcción de prefiltros de gravilla, cementado o colocación de cierres en espacios anulares, etc. Por último deberá poseer el diámetro mínimo para la instalación del equipo de bombeo. En muchas ocasiones este factor es el determinante.

Diámetro y longitud del filtro: la longitud del filtro guarda relación con el tipo y granulometría del material que conforma el acuífero y con el caudal a extraer. Un factor importante que pesa a la hora de la decisión es el costo, ya que la rejilla suele ser el elemento comparativamente más costoso de los que componen el pozo, si se excluye el equipo de bombeo.

Para instalar el filtro se busca entonces una zona de composición homogénea y de mayor granulometría, sucede que por la clasificación hidráulica en el caso de materiales como la arena, esta zona se encuentra en el tercio inferior del espesor del acuífero y allí se deberá instalar la unidad de filtración.

Espesores típicos de acuíferos pueden ser entre 10 y 30 metros y longitudes de filtro de entre 7 y 20 metros respectivamente.

Selección de la abertura del filtro: el tamaño de la abertura de filtro se selecciona en función de la granulometría del material que compone el acuífero y en su caso, de la granulometría del filtro o prefiltro de grava o gravilla que eventualmente se emplee. En este último caso la rejilla debe contener al material artificialmente agregado y no al que constituye el acuífero.
Los fabricantes de rejilla indican las velocidades óptimas o máximas que debe tener el agua al atravesar la superficie exterior de la misma. Un dato habitualmente manejado es limitar dicha velocidad a 3 cm/s, a fin de disminuir las pérdidas de carga y disminuir el riesgo de las incrustaciones. Una velocidad baja ayuda a evitar asimismo el ingreso de los materiales que integran el acuífero (por arrastre del mismo).
El prefiltro o filtro es un empaque de grava artificial, que se coloca cuando el acuífero está compuesto por arenas de granulometría fina (aprox. hasta 0,25 mm) o mediana (aprox. hasta 0,5 mm), en cuyo caso las ranuras o aberturas de los filtros no pueden contener los granos que serían arrastrados por el agua bombeada. En este caso el filtro está constituido por la grava más la rejilla, ya que esta última actúa como soporte de aquella.
Al hablar de desarrollo de perforaciones volveremos sobre este aspecto.

DISEÑO DE POZOS – EJERCICIOS

Problema N°1: Se quiere conocer cuál será el abatimiento y nivel dinámico en un pozo que se desea construir conociendo la capacidad específica en función de otras captaciones ubicadas en la misma región.
Definir si es necesario construir un pozo del tipo telescópico y sus dimensiones principales: diámetro y longitud de entubado de revestimiento, filtro o criba y tubo de acompañamiento del filtro..

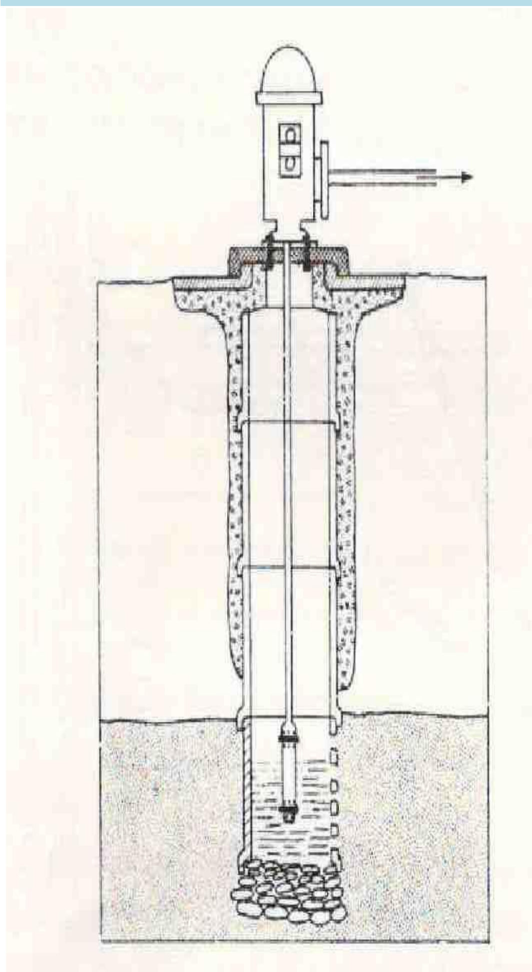
Datos:

Caudal requerido: 120 m3/h
Elevación sobre nivel del piso: 30m
Tipo de acuífero: semiconfinado, por encima del cual existe una napa a aislar.
Profundidades: techo del acuífero: 40 m
Piso del acuífero: 63 m
Capacidad específica esperada: 5,5 m3/h.m
Nivel estático del acuífero: 19m

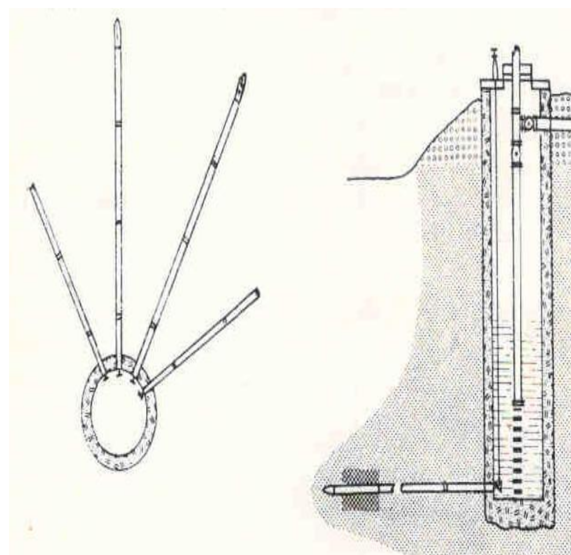
Problema N°2: resolver con los mismos datos del problema anterior con la sola modificación de la capacidad específica a 11 m3/h.m.

2.2 DISEÑO DE POZOS DE AGUA

TIPOS CONSTRUCTIVOS DE POZOS PARA AGUA



Pozo tradicional



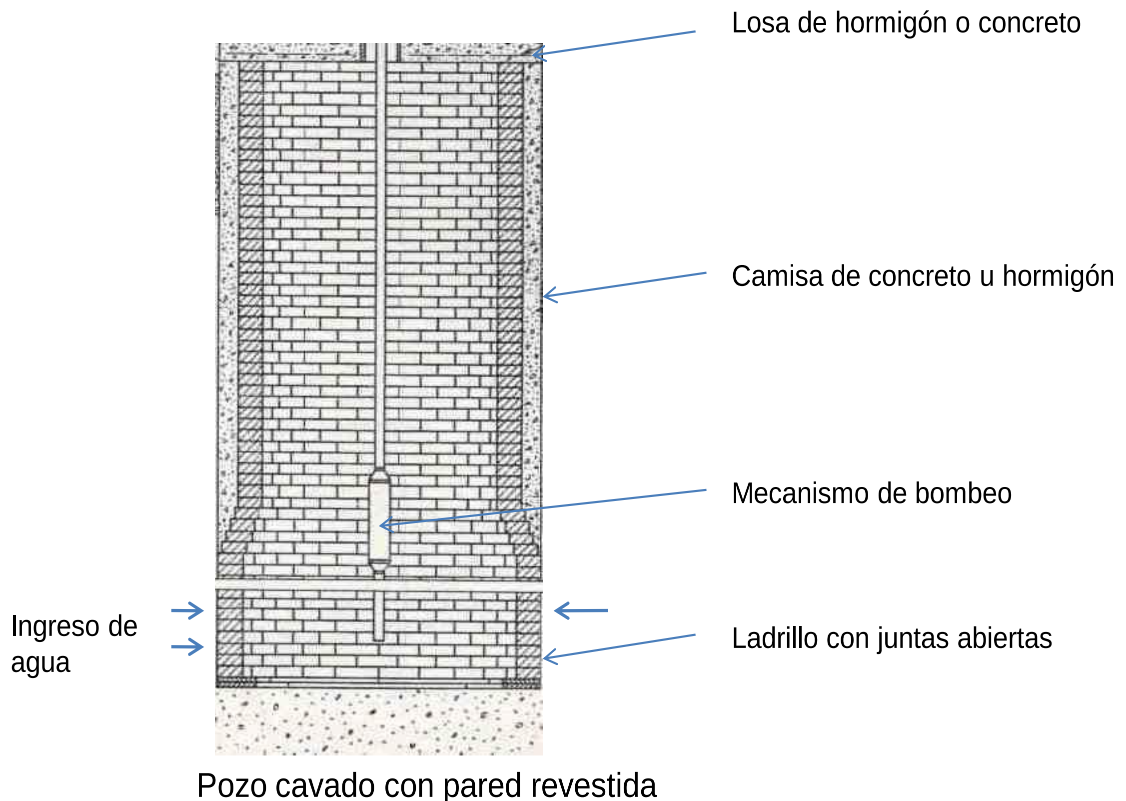
Pozo radial o de Ranney

Los pozos radiales se emplean cuando se desea extraer el agua de un manto de poco espesor. Otra forma constructiva son los pozos tipo "Maui", galerías prácticamente horizontales, en ocasiones acodadas, de manera que interceptan grietas en el suelo rocoso (que en el caso del basalto suelen ser verticales).

El arriba denominado "pozo tradicional" lo es en función de su simplicidad constructiva, excavado en el suelo en forma manual, a lo sumo con la ayuda de implementos rudimentarios y con sus paredes revestidas con mampostería, tubos cementicios, etc.. No obstante ello en el pasado se han construido pozos de este tipo con profundidades considerables, incluso con las paredes sin revestir o calzar.

2.2 DISEÑO DE POZOS DE AGUA

TIPOS CONSTRUCTIVOS DE POZOS PARA AGUA



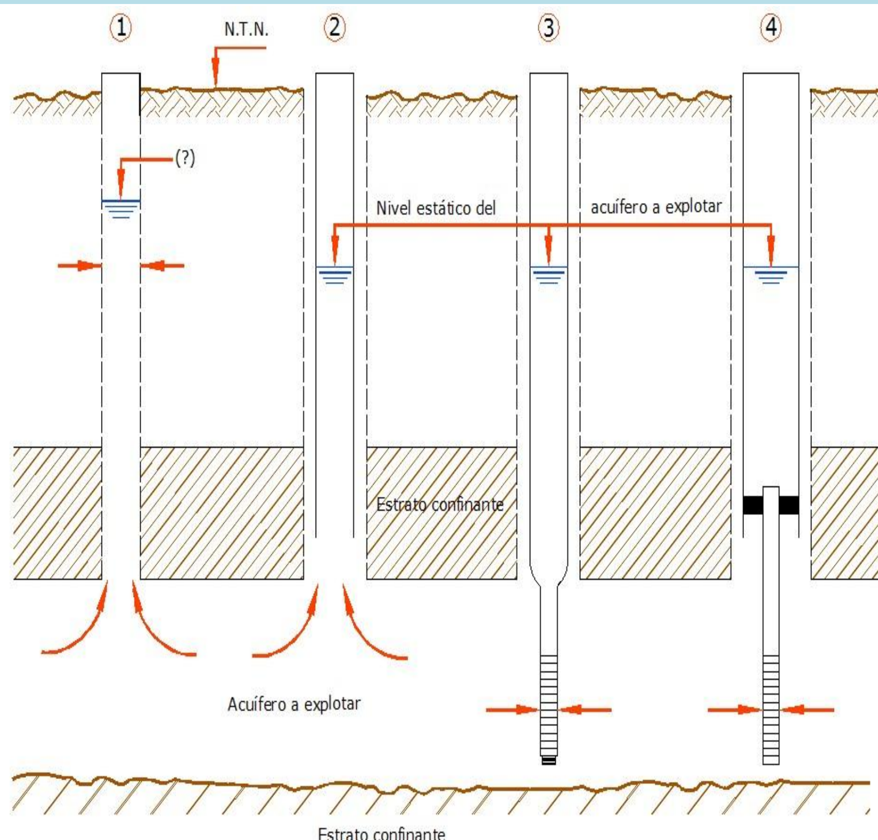
Pozo cavado con pared revestida

69

Los pozos para obtener agua han evolucionado como toda obra humana, pero curiosamente coexisten las formas más primitivas, tanto en configuración como en sus métodos constructivos, con las captaciones producto de las técnicas más avanzadas. En las figuras de arriba ejemplos de pozos que se siguen construyendo en razón de la baja inversión requerida y en el caso del pozo radial por motivos vinculados a la higrogeología del lugar.

2.2 DISEÑO DE POZOS DE AGUA

TIPOS CONSTRUCTIVOS DE PERFORACIONES PARA AGUA



1. Abierto 2.Entubado sin filtro 3. Corrido 4.Telescópico

70

En términos generales los pozos construidos o perforados con máquinas especiales (ciertos autores llaman sólo a estos “perforaciones” o “sondeos”, reservando el término “pozo” para los ejecutados manualmente) presentan una de las configuraciones indicadas en los esquemas numerados del 1 al 4. Existen por supuesto un cierto número de variantes y alternativas dadas por las características litológicas del lugar, la disponibilidad de equipos, mano de obra y materiales para construir, las modalidades o costumbres del sitio, etc.

1. Pozo abierto: sin entubados ni filtro. En ocasiones se coloca un tramo de tubería en la boca del pozo para evitar su desmoronamiento. Este pozo extrae agua de los diferentes acuíferos o napas que atraviesa, poniéndolos en contacto entre sí incluso se están contaminados. Puede desmoronarse aprisionando al equipo de bombeo. La única razón de su construcción es el bajo costo. Se emplean para riego.

2. Pozo entubado y sin filtro: en general posee tubería de revestimiento de sus paredes, denominado ademe o camisa. Permite, si es necesario, que se aíslen capas de agua (napas) superiores que pueden poseer agua de calidad inadecuada para su uso. Si el acuífero que explota está compuesto por material disgregado o sedimentario como arena, éste será arrastrado en abundancia conjuntamente con el agua bombeada. Este tipo de perforaciones se emplean mayormente en pequeñas explotaciones.

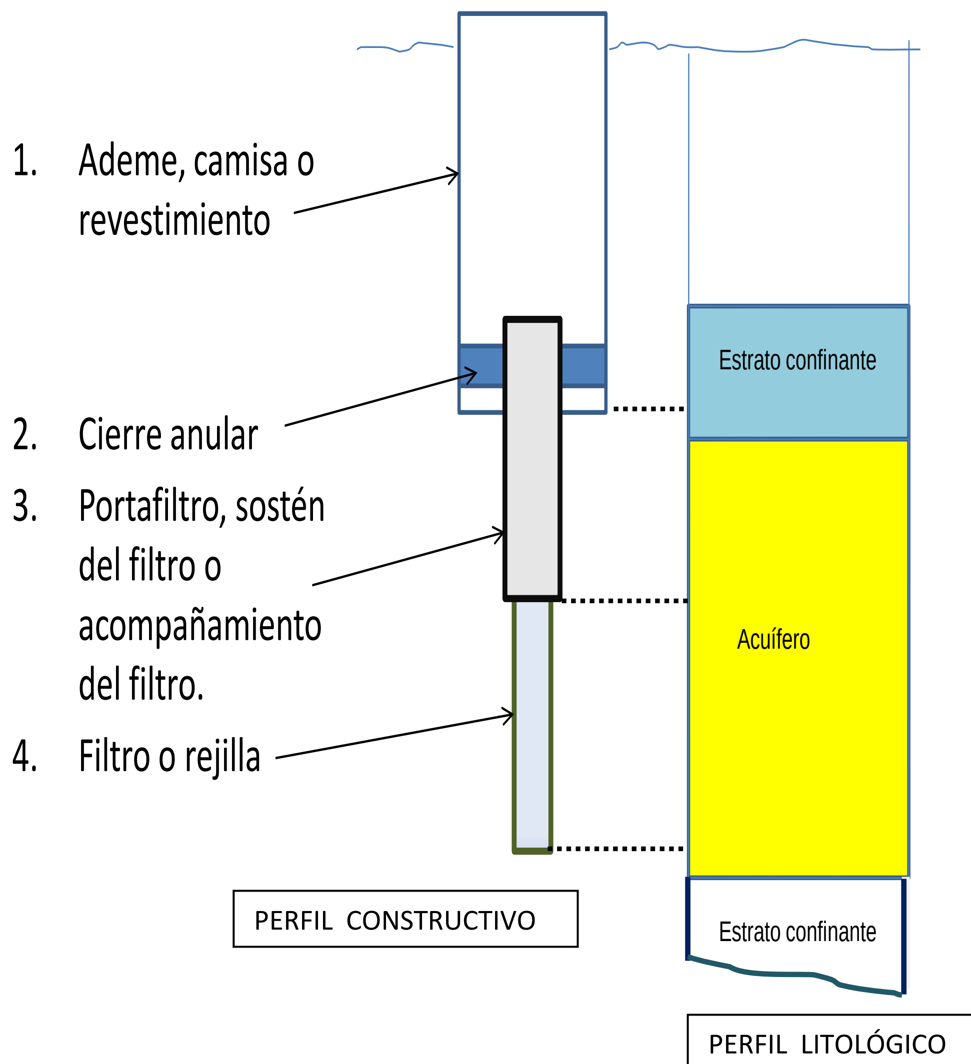
3. Pozo entubado y con filtro corrido: está completamente entubado o ademado y posee rejilla, filtro, criba o cedazo. Si bien se estabilizan las paredes del pozo y se impide el arrastre del material que conforma el acuífero con el agua bombeada, presenta cierta dificultad en caso de tener que aislar aislar correctamente una capa de agua superior. El problema radica en asegurar la estanquidad del tubo en la zona en que el mismo interesa o penetra en el estrato que, de existir, aisle o separe a los acuíferos entre sí. En general puede resultar más económico que un pozo telescópico.

4. Pozo telescópico: es la configuración más adecuada para aislar acuíferos superiores pero además para avanzar con seguridad a partir de la instalación de cada entubado y la continuación del trabajo por dentro de él. Su mayor inconveniente radica en asegurar los cierres entre tuberías concéntricas.

En ocasiones posee dos o más reducciones de diámetro cuya necesidad se basa en las características del perfil litológico del lugar de implantación, sea por la existencia de diferentes capas de agua con intercalaciones de estratos no acuíferos (Acuitardos, Acuiclusos o Acuífugos) o bien porque constructivamente resulta más seguro avanzar estabilizando sectores que puedan desmoronarse.

2.2 DISEÑO DE POZOS DE AGUA

Partes constitutivas principales



Estas partes constitutivas son las que puede presentar una captación de agua de cierta complejidad. Es un esquema genérico que puede presentar muchas variantes tales como poseer más cambios de diámetro en las tuberías que lo componen, emplear una unidad de filtrado del mismo diámetro que la del tubo de acompañamiento (muy raramente se podrá justificar un diámetro mayor en la criba que en el tubo de sostén de la misma), prolongar el tubo de acompañamiento hasta la superficie. A su vez hay una variedad de cierres anulares que se practican, además de que la unión entre tubos puede ser rígida.
Por supuesto existen variantes más simples como las antes señaladas que no poseen filtro o tan siquiera ademe o camisa.

PARTE III

3.1 METODOS CONSTRUCTIVOS
Percusión

- <u>Sistema pensilvánico</u>: la herramienta (trépano) o conjunto de ellas, pende de un cable de acero animado de un movimiento de vaivén longitudinal.
- <u>Sistema canadiense</u>: la herramienta o sarta de herramientas pende de un vástago rígido y sólido, el que a su vez en la superficie cuelga del cable de acero.

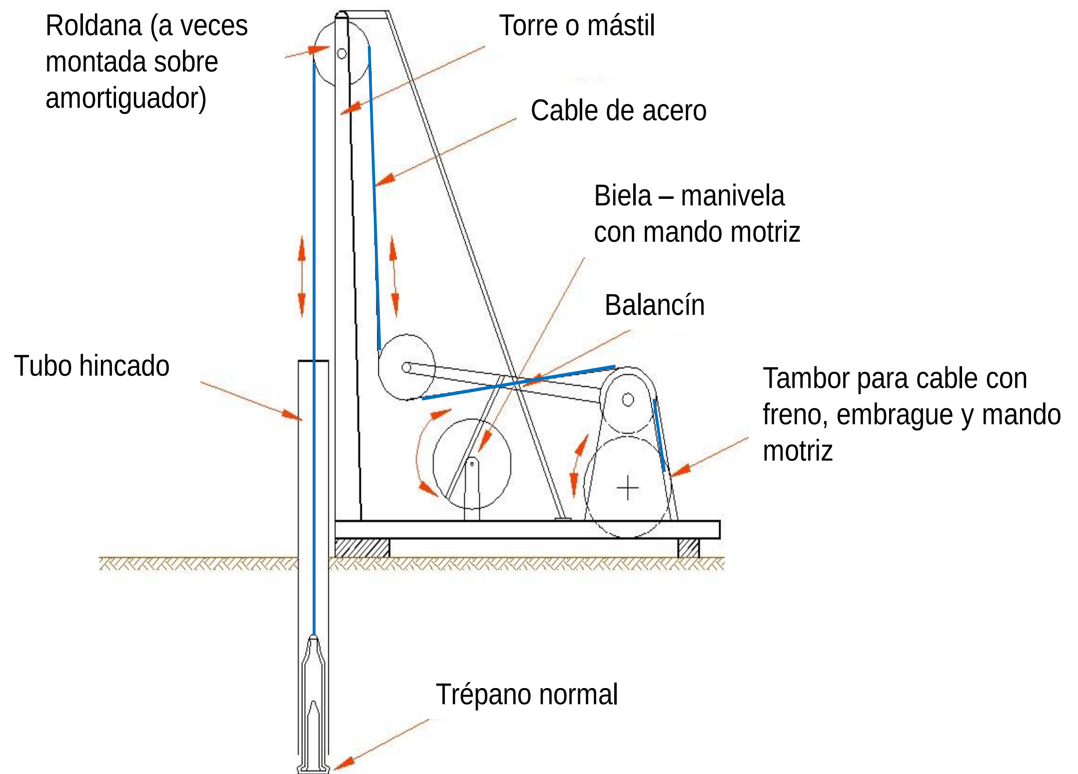
  En estos casos se agrega agua para formar un lodo con los detritos que va recortando del terreno el trépano. Cada tanto se levanta la columna y se baja una herramienta llamada “cuchara”,”válvula”o “sonda”, para levantar ese lodo. Si se trabaja en terreno suelto como arena se avanza directamente con esta última herramienta.
- <u>Sistema canadiense modificado:</u> se utilizan vástagos huecos y por su interior se inyecta agua que arrastra los detritus, formándose un lodo de inyección. Es un sistema mixto que adopta procedimientos propios del método de perforado por rotación.

En el método por percusión, simultáneamente con el avance del trépano se va bajando una tubería que entra ajustadamente en orificio del pozo (en el canadiense modificado no es necesario). Esta tubería penetra por su propio peso o bien forzada, operación denominada “hincado” y tiene por objeto consolidar las paredes del pozo y eventualmente aislar las capas de agua superiores que no se desee captar.

Método apto para obtener muestras testigos de los estratos atravesados y para no alterar con inyección de lodo los estratos productivos (acuíferos) a explotar.

Son en general equipos pesados, de gran porte y robustez. Se adaptan mejor a la perforación de rocas consolidadas y poseen la ventaja de requerir poco empleo de agua. Su velocidad de avance es muy inferior a la del método rotativo razón fundamental por la cuál ha sido gradualmente sustituido por éste.

METODOS CONSTRUCTIVOS
Percusión



El trépano debe trabajar siempre bajo el agua a fin de permitir el disgregado de la roca y asegurar la evacuación del calor generado por los golpes sobre la misma. Asimismo el agua permite la extracción de los detritus producto de la disgregación de la roca, sea por medio de la cuchara (también llamada sonda, bomba o válvula) o bien por la inyección en el método canadiense modificado.

En los terrenos constituidos por rocas no consolidadas como las arcillas, el avance de la perforación por este método es decididamente lento por el empastado o atascamiento del trépano y la dificultad para evacuar los detritus. Por otro lado es en estos terrenos cuando resulta especialmente necesario estabilizar las paredes mediante la introducción del tubo hincado lo cual provoca una nueva dificultad y mayor demora en los trabajos. Todo esto se traduce naturalmente en costos muy importantes ampliamente superiores a los demandados por el método rotativo de perforado.

METODOS CONSTRUCTIVOS
Rotación

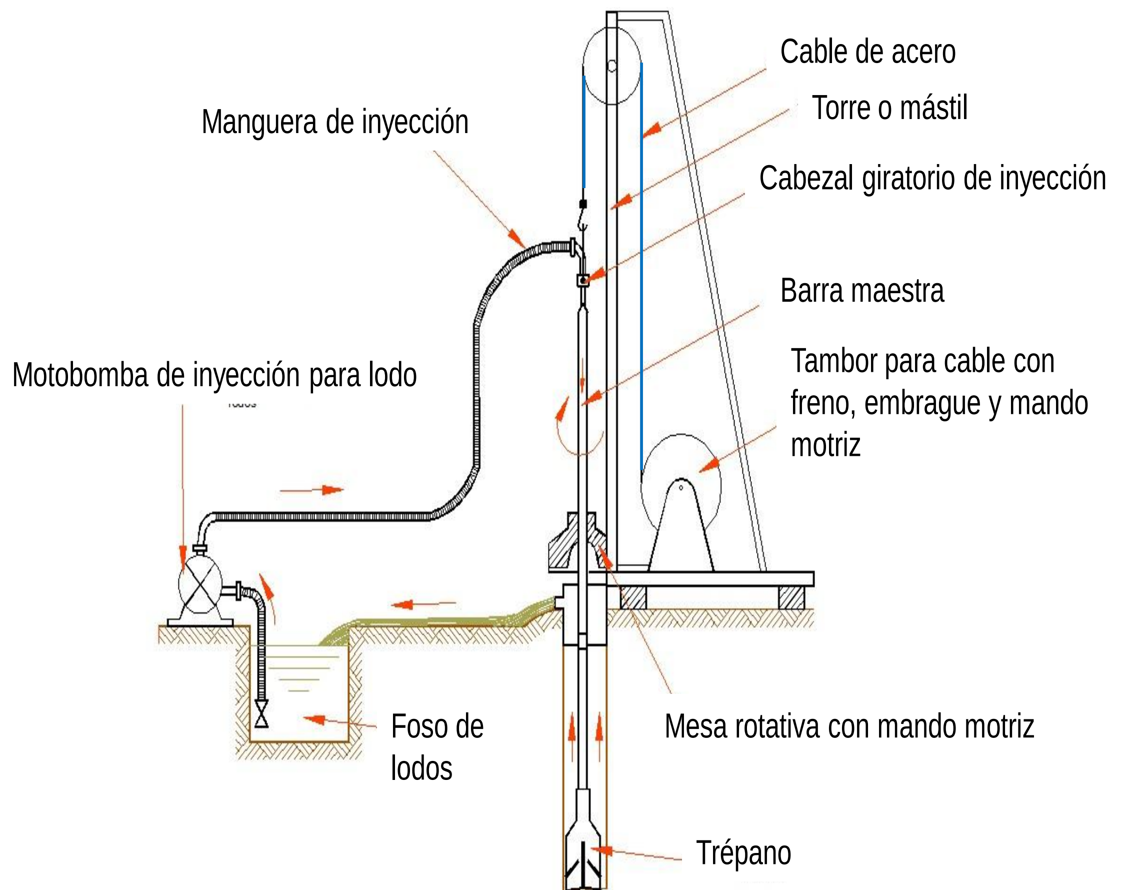
- Consiste en un trépano que va avanzando animado de un movimiento de rotación, que le comunica la columna de perforar. Ésta es a su ver hueca y por su interior se inyecta el lodo de perforación (rotación directa) o bien sube el lodo que desciende por la sección del pozo (rotación inversa).
- Ventaja principal la rapidez de avance(varias veces superior al método de percusión). Como el lodo recubre la pared del pozo contribuye a su estabilización y en general no se requiere tubería de recubrimiento mientras se perfora. En rocas muy duras se emplean los trépanos especiales trituradores (triconos). La desventaja principal es el enmascaramiento que produce la inyección para el análisis de los detritus que indican las características del suelo que se atraviesa y al hecho de que la inyección de lodo disminuye la permeabilidad de las arenas acuíferas.

En el sistema de perforado por rotación, se inyecta el lodo o fluido de perforar por dentro de la columna formada por las barras de perforar el cual emerge en el trépano para ascender luego a través de toda la sección transversal del pozo. Este es el método llamado de circulación directa o más abreviadamente rotación directa.

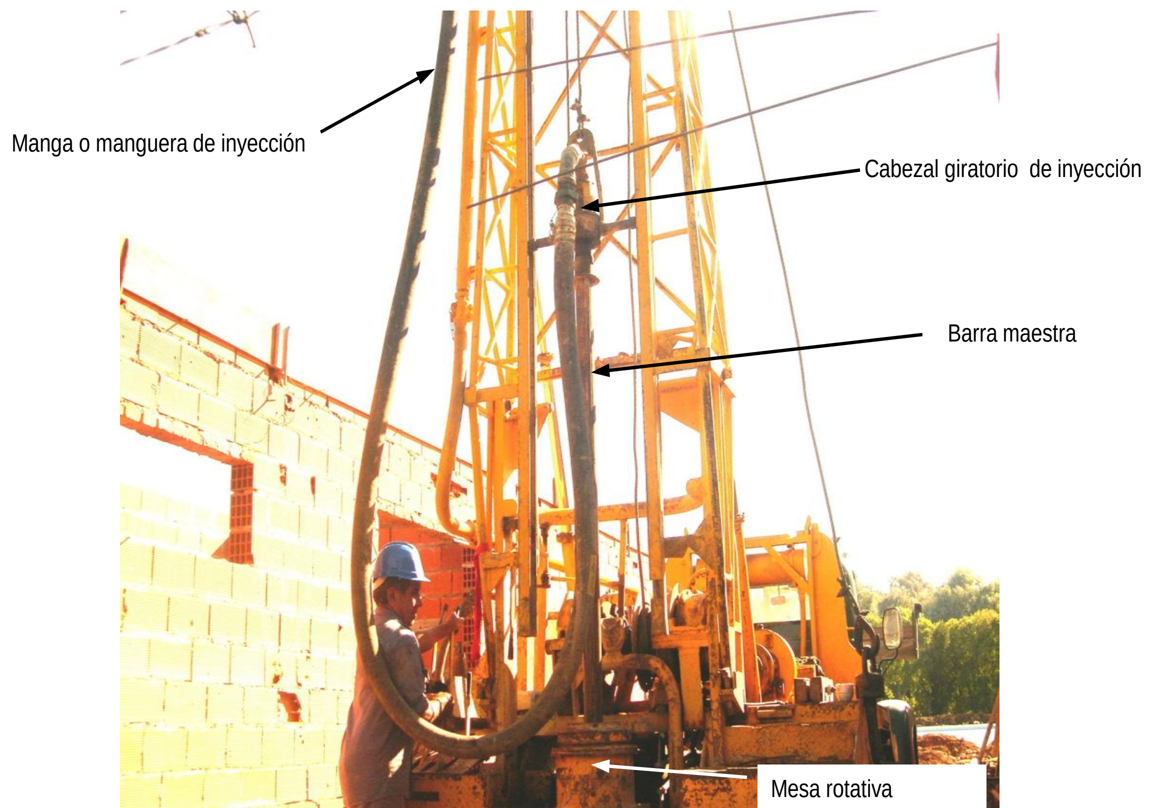
En una variante denominada rotación inversa se hace circular el fluido de perforación de manera ascendente por dentro de la tubería de perforado y al revés que antes desciende por la parte externa de la misma. Se emplea para pozos de diámetros grandes en formaciones no consolidadas.

Un método alternativo al de rotación directa con inyección de lodo es el de perforar con inyección de aire comprimido y se usa actualmente en rocas consolidadas. El trépano empleado en este caso es el denominado “martillo de fondo” o rotopercutor, que combina el golpeteo propio del método de percusión con el rotatorio del sistema rotativo

METODOS CONSTRUCTIVOS
Rotación



METODOS CONSTRUCTIVOS
Rotación



63

.

METODOS CONSTRUCTIVOS
Herramientas usadas en la perforación

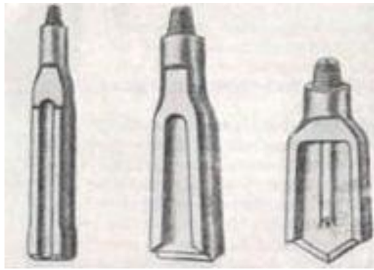
- Herramientas de percusión: trépano pensilvánico, cuchara, tijera.
- Herramientas de rotación: trépanos, tricono, cabezal de inyección, martillo de fondo o roto-percutor.
- Lodos de perforación: la viscosidad es la característica mas importante. Aditivos. Control de pH (entre 7 y 9,5 para evitar la floculación de las arcillas)

10

METODOS CONSTRUCTIVOS
Herramientas usadas en la perforación



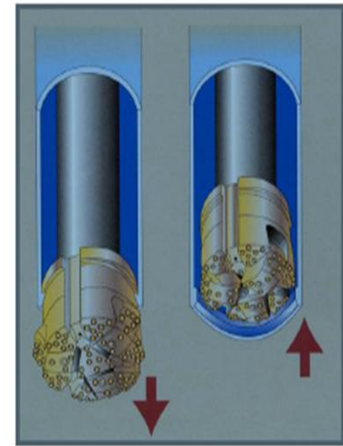
3.1 METODOS CONSTRUCTIVOS
Herramientas para rotación y percusión



Trépanos utilizados en el sistema de percusión



Tricono, trépano empleado en el sistema de rotación



Roto percutor o Martillo de fondo

85

Lodo o fluido de perforación: para la formulación del lodo o fluido de perforación deben tenerse presente las funciones que cumple en el método de perforación por rotación:

- Traer a la superficie los detritos o fragmentos del suelo cortados por el trépano.
- Estabilizar las paredes del pozo, para evitar que se derrumben o socaven.
- Evitar la fuga de la inyección por las paredes del pozo, ya que ello además de obligar a reponer fluido, impide saber al perforista que está pasando a nivel del trépano y por otra parte puede contribuir a socavar la pared del pozo.
- Enfriar al trépano evacuando el calor generado por la fricción.
- Limpiar al trépano manteniendo sus superficies cortantes en contacto con el terreno.

Para cumplir con el primer requerimiento esto es traer a la superficie los fragmentos del terreno a fin de posibilitar el avance del trépano y dejar conformado el orificio en el terreno, el fluido debe poseer viscosidad adecuada y velocidad suficiente. La viscosidad influye de manera directa en la capacidad de arrastre y en cuanto a la velocidad es decisiva a la hora de remover materiales de peso específico elevado o tamaño grande de partícula como es el caso de la arena y en especial la grava o incluso el canto rodado. La velocidad queda definida por la capacidad de la bomba de inyección y su relación con las secciones transversales del pozo.

La viscosidad es en cambio una característica neta del lodo y puede ser incrementada agregando por ejemplo arcilla común o bentonita, ampliamente empleadas en la práctica para perforar estratos no productivos pero cuyo uso al atravesar los estratos productivos del acuífero debe ser cuidadosamente sopesado ya que poseen un elevado poder para obturar los poros del terreno lo que en el caso de los acuíferos es contraproducente. La posterior eliminación de los residuos de arcilla o de bentonita es difícil sobre todo si existe un prefiltro de grava.

Para resolver este problema sin generar otro, se han desarrollado polímeros orgánicos a base de materiales tales como la goma guar proveniente de la molienda de porotos o guisantes cultivados en Pakistán y la India.

Las propiedades más interesantes de estos aditivos son la elevación de la viscosidad (dependiendo de la concentración empleada se obtienen valores del orden de 60, 80 y hasta 180 o más segundos medida con en el embudo de Marsh) y la capacidad de autodestrucción al cabo de un cierto tiempo por degradación bacteriana, que hace que el fluido retorne a una viscosidad prácticamente igual a la del agua (del orden de 26 segundos viscosidad embudo Marsh para el agua pura).

El mejor rendimiento de los agregados para formular el lodo de perforación se consigue en general con pH bajos. Además por encima de un pH=9 floculan las arcillas haciendo que precipiten, apartándose del fluido en circulación e impidiendo su remoción con la consiguiente acumulación en el pozo y cese o disminución de las funciones del fluido.

La formación del revestimiento de las paredes del pozo a fin de evitar su desmoronamiento o socavación se obtiene por la película que forma el lodo de perforación la cual disminuye asimismo la fuga de inyección por las paredes.

METODOS CONSTRUCTIVOS
Lodo de inyección típico

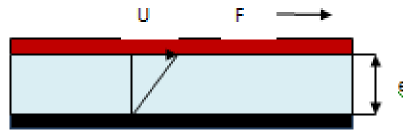


<u>Lodos de perforación rotativa</u>: en general son suspensiones coloidales de arcillas naturales o agregadas para formular la suspensión.

<u>Caracteristicas del lodo:</u>

- Agua libre: su absorción por el terreno genera la "costra" o "cake" que reviste las paredes del pozo y las estabiliza.
- Densidad: puede ser del orden de 1,2 (máximo para arcillas 1,4 luego no se pueden bombear).
- Viscosidad es la característica mas importante. Si es muy viscoso eleva la potencia de bombeo e impide la separación de la arena del lodo. Si es muy pequeña permite que durante el perforado se sedimenten las partículas. Se regula con el pH que a su vez se controla con aditivos.
- La tixotropía (variación de la viscosidad con el estado de movimiento). Permite que se forme un gel al cesar el movimiento

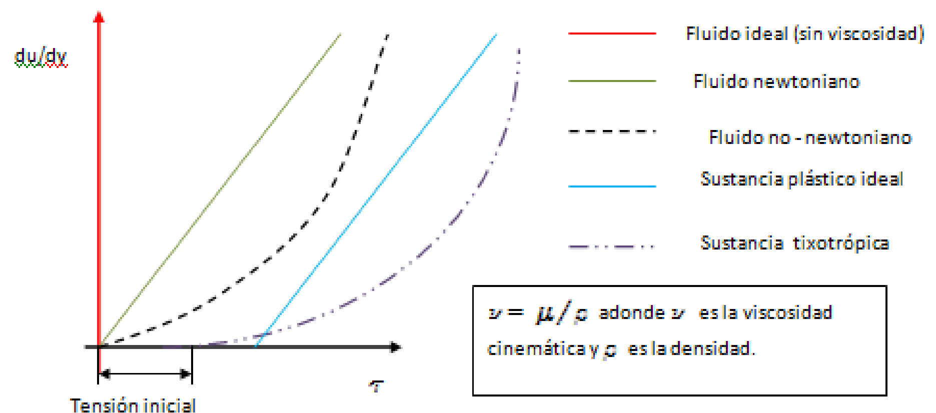
3.1 METODOS CONSTRUCTIVOS
Lodo de inyección Viscosidad – Tixotropía



Si se tienen dos placas paralelas muy próximas y suficientemente largas como para despreciar las condiciones de borde y se aplica una fuerza F a la placa superior, cuya sección es A, estando la inferior en reposo y se verifica que la placa se mueve con velocidad constante (no nula) se puede concluir que la sustancia ubicada entre las placas es un fluido.

El fluido en contacto con la pared sólida no se mueve respecto de la misma, es decir tiene su misma velocidad (hecho experimental), el fluido se mueve hasta ocupar un nueva posición de modo que cada partícula se desplaza paralelamente a la lámina y la velocidad u va desde cero en contacto con la placa inferior hasta U en contacto con la superior.

La experiencia demuestra que es F= μ * A * U/e adonde μ el factor de proporcionalidad es la viscosidad absoluta o cinemática (característica del fluido) y U/e, es la variación de la velocidad angular que se puede escribir también como du/dy y si se hace el cociente τ= F/A resulta la expresión de Newton : $\tau = \mu$ * du/dy



87

Recordemos por último, en este breve repaso, el número adimensional de Reynolds R que vincula las fuerzas de inercia y las fuerzas viscosas:

$R = \frac{V * D}{\nu}$ adonde V es la velocidad del fluído, D es, en el caso de circulación por una tubería, el diámetro de la misma.

METODOS CONSTRUCTIVOS
Muestras de suelo tomadas desde la inyección



Cajón de muestreo



Detalle

Arena mediana

Arcilla azul (estrato confinante)

PROCEDIMIENTO DE AISLACION DE UNA CAPA DE AGUA SUPERIOR CONTAMINADA

Uno de los problemas que más frecuentemente se presenta en la práctica al construir una perforación para captar agua potable, es lograr una adecuada aislación de una capa de agua que deba atravesarse, de no lograrlo se corren graves riesgos sanitarios.

Resulta frecuente que, al construir una perforación para captación de agua destinada al consumo humano, se deba atravesar una capa de agua contaminada o una zona de terreno saturada con agua contaminada. En tales casos el constructor debe asegurar que el agua de esa zona no ingresará al pozo una vez concluida la obra, a fin de lograr que el agua que se capte sea potable y contribuir a preservar el acuífero a explotar .

Además es importante realizar pruebas de estanquidad del tubo una vez emplazado el mismo y concluidas las tareas de aislación, de lo contrario sólo se podrá detectar la intrusión de agua contaminada mediante análisis del agua bombeada, información que a menudo llegará tardíamente, cuando la obra de captación ya esté terminada.

Basados en la existencia de un estrato de muy baja permeabilidad que a la vez que actúa como piso de la zona saturada de agua contaminada es el techo del acuífero que se desea explotar, se han utilizado a lo largo del tiempo distintos procedimientos de aislación.

Hincado del tubo de aislación (también denominado ademe, caño de camisa o encamisado): esta técnica empleada para tubos de acero requiere de un pisón, masa metálica pesada, con la cual se golpea repetidamente el tubo una vez que el extremo inferior del mismo está en contacto con el estrato de baja permeabilidad, provocando su gradual penetración en la formación poco permeable. Los inconvenientes que se han señalado con este procedimiento son, entre otros: que se requieren tubos mecánicamente resistentes a los golpes, incluyendo sus uniones y que aún así pueden provocarse fisuras en los tubos (estas fisuras no son observables y desde luego el agua contaminada que se desea evitar puede penetrar por ellas). No es aplicable a los tubos plásticos o cementicios.

Expansión de las arcillas del estrato: cuando el estrato de baja permeabilidad está constituido por arcillas se perfora a menudo con un diámetro relativamente ajustado a la dimensión exterior del tubo que se va a instalar y se confía en que la expansión natural de la arcilla hará el resto ajustándose naturalmente al tubo instalado (la arcilla ya está saturada de agua antes de colocar el tubo). No resulta en absoluto asegurada la estanquidad con este procedimiento, ya que no se puede establecer a ciencia cierta que la mencionada expansión vaya a tener lugar ni mucho menos que la misma ocurra en forma homogénea y completa alrededor del tubo. En la práctica es frecuente encontrar tubos "sueltos" luego de años de

instalados y que pueden ser elevados hacia la superficie con un mínimo esfuerzo, con lo cual resulta claro que no existía un cierre estanco, ya que en tal caso estarían aprisionados por la arcilla.

Cementado exterior por gravedad: consiste en el descenso por el espacio anular entre tubo y pared del pozo de una lechada de cemento portland. Como quiera que es la gravedad la que impulsa la lechada y teniendo en cuenta que existen irregularidades en la pared del pozo e incluso desmoronamientos parciales de la misma, este método no brinda las mejores garantías. Se mejoran sus resultados empleado una tubería por la cual se envía la lechada comenzando la operación desde abajo hacia arriba. Todos los métodos de cementación son aplicables a tubos de cualquier material y poseen la ventaja de no producir solicitaciones indebidas sobre los mismos.

Cementado exterior a presión: este método mejora sensiblemente los resultados del anterior al emplear no sólo una tubería para hace descender la lechada de cemento sino que la misma es bombeada desde la superficie.

Cementado interior a presión: es el método que se ha manifestado mas seguro en la práctica por los resultados obtenidos. Originado en la industria del petróleo ha sido recomendado por diversas autoridades y organismos del control. En Argentina la empresa estatal Obras Sanitarias de la Nación ex- prestataria de los servicios de provisión de agua, lo exigía como método estándar de aislación de la capa de agua freática, para la explotación del acuífero Puelche en el área de la Ciudad de Buenos Aires y alrededores.

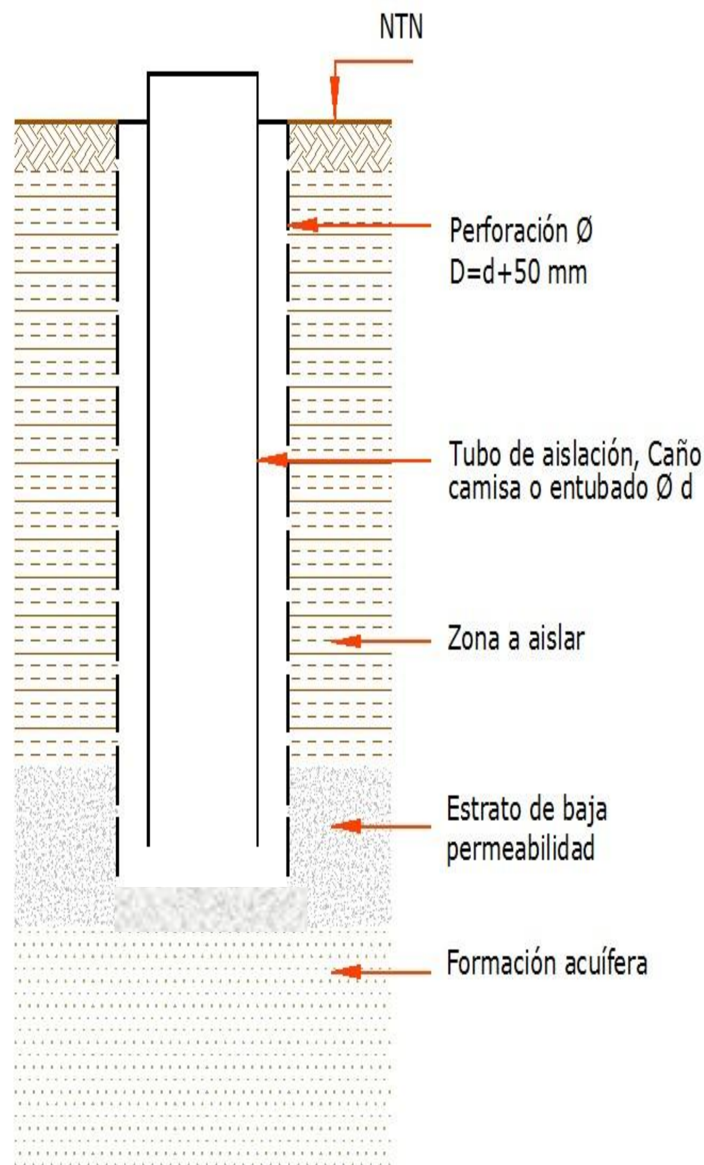
Descripción del método de cementado interior a presión

Se emplea cemento del tipo portland de buena calidad y en buen estado de conservación, la proporción de agua estipulada es de entre 24 y 30 litros de agua por cada 50 Kg de cemento, con los cuales se prepara una pasta. En la práctica es aconsejable emplear la mínima cantidad de agua compatible con la obtención de una pasta fluida sin grumos que pueda ser bombeada por el equipo de bombeo que posea el equipo perforador o bien por una bomba auxiliar, sin que se produzcan obturaciones en la línea de impulsión que obliguen a detener la operación antes de concluir con la misma. Debe tenerse presente que el agua existente en la formación a aislar contribuirá a diluir la pasta de cemento empleada transformándola en una verdadera lechada de cemento.

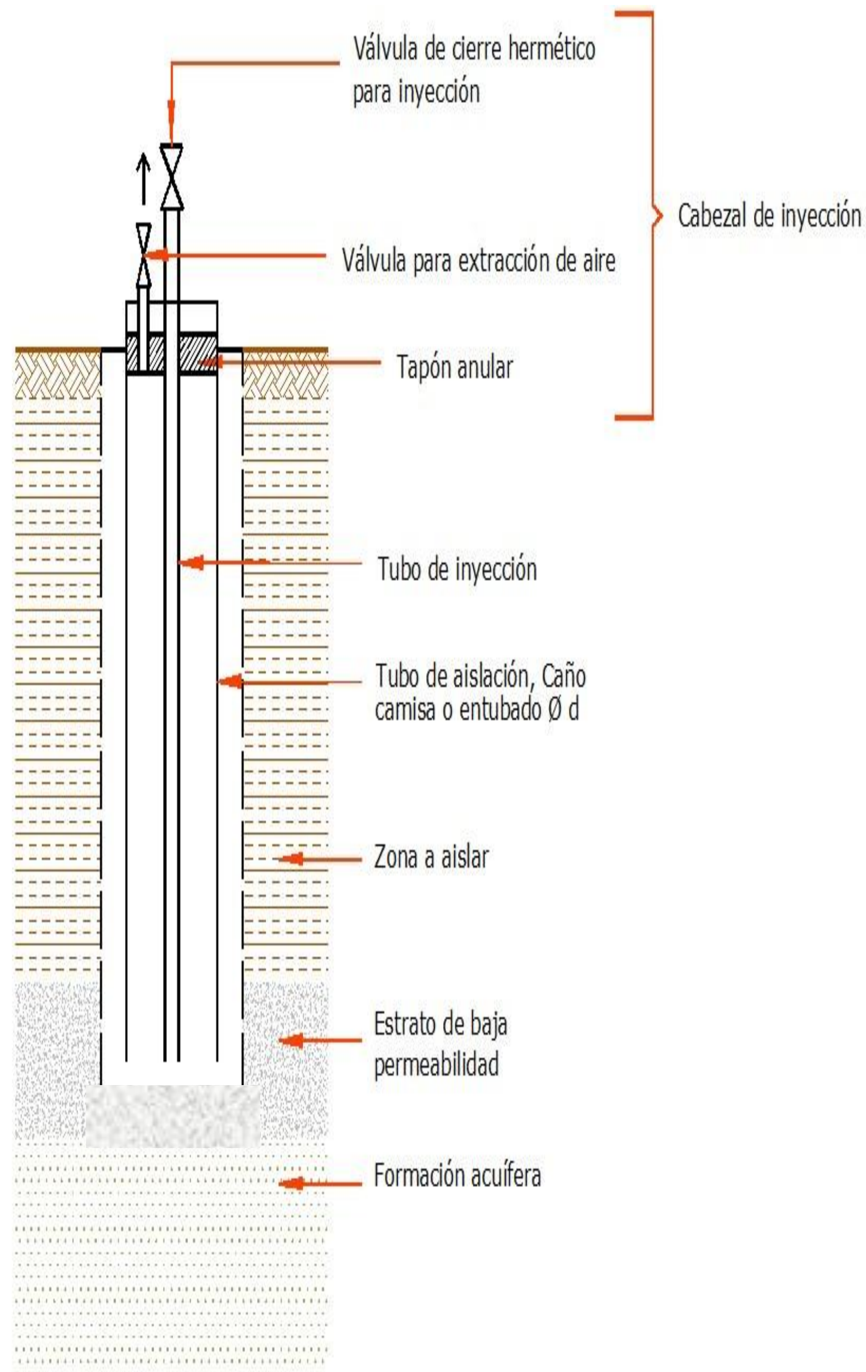
Las figuras ilustran sobre las distintas fases del procedimiento de cementación por el interior a presión.

Se tiene en primer término el tubo de ademe o camisa colocado en posición adecuada conforme a lo indicado por el perfil litológico, centrado en un pozo cuyo diámetro excede por lo menos en 2” (50 mm) el diámetro exterior del tubo.

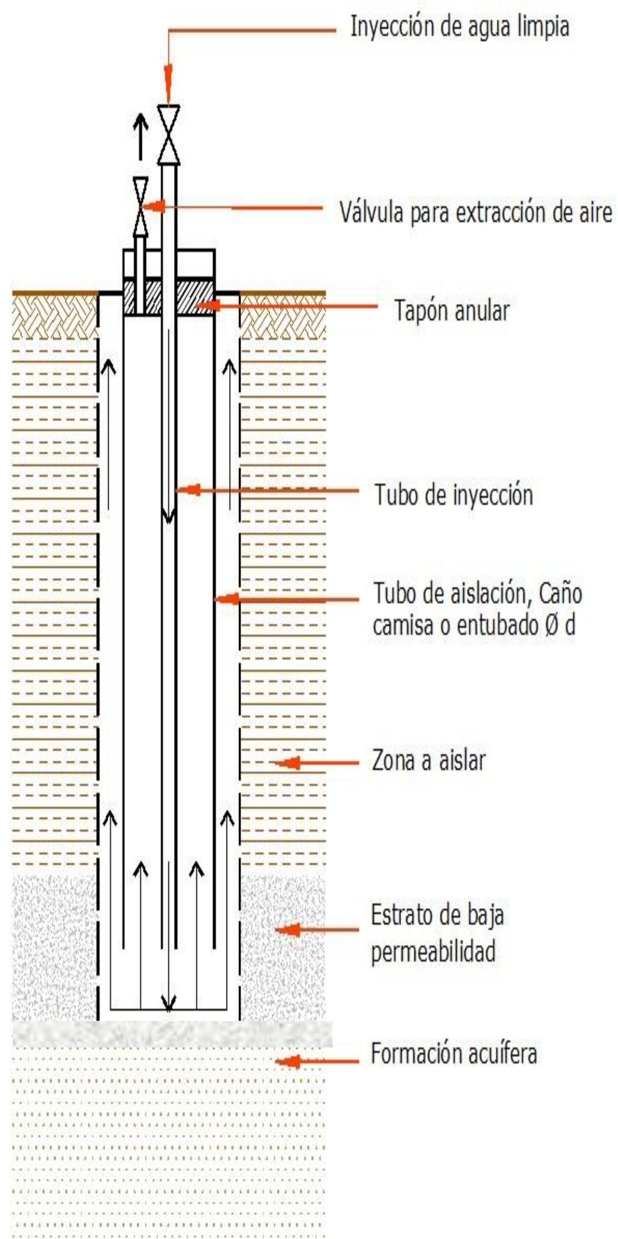
En el presente caso y como lo indican la experiencia y se exige en algunos reglamentos constructivos, se debe penetrar las tres cuartas partes del espesor del estrato confinante superior. Esta medida es forzosamente aproximada dado que no existe una división tajante entre un estrato y otro, sino que el cambio ocurre en todos los casos con mayor o menor gradualidad. Además en el caso de estratos de arcilla poco compacta, deleznable o muy pegajosa, no es conveniente dejar el extremo del ademe o camisa muy alejado del comienzo franco del estrato de arena, ya que las partículas de arcilla tenderán a ocupar el orificio cuando se abra por debajo del ademe o camisa, para instalar la rejilla o filtro y ensuciarán a éste a su paso y el espacio de arcilla expuesto será lavado por la inyección, incorporando partículas de arcilla cuando se deba entrar en la arena. Estas condiciones pueden conspirar contra el rendimiento posterior del acuífero al obstruir los espacios intergranulares.



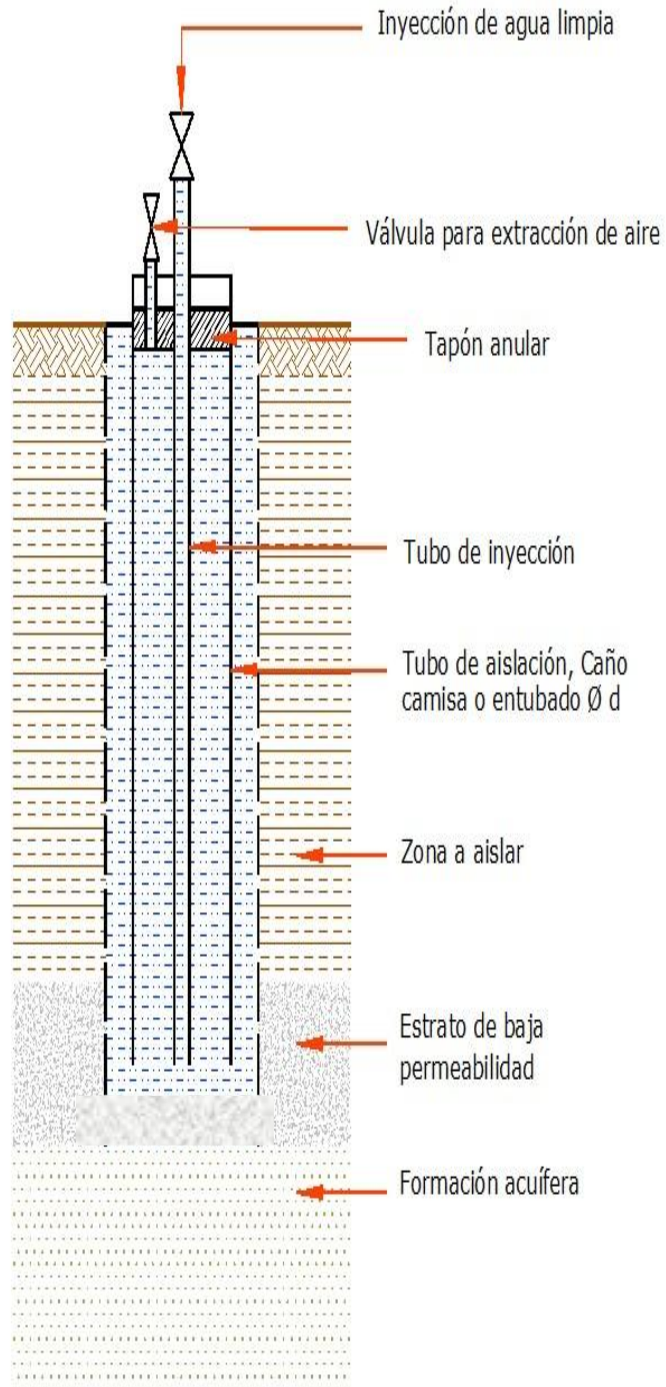
Se arma entonces el cabezal de inyección, compuesto por un tapón que ajusta perfectamente por el interior del tubo, un extremo superior con válvula para la inyección y una válvula de venteo:



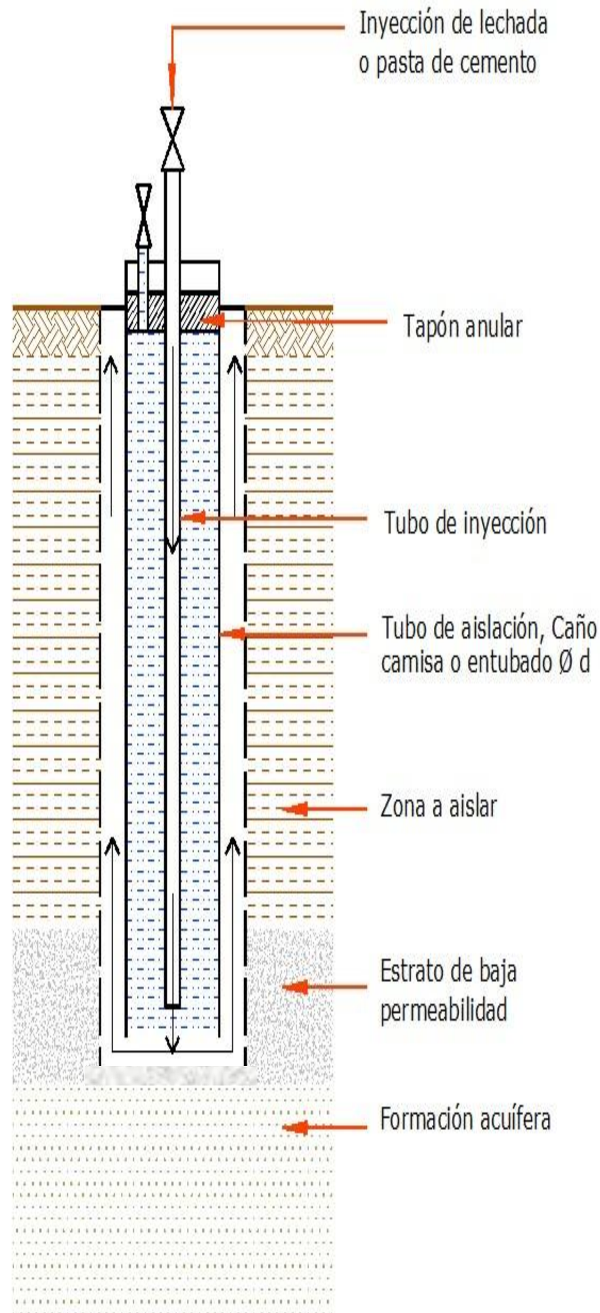
Se inicia la inyección con agua limpia y las dos válvulas abiertas de manera de ir desalojando el aire ubicado dentro del tubo a cementar:


Inyección de agua limpia
Válvula para extracción de aire
Tapón anular
Tubo de inyección
Tubo de aislación, Caño camisa o entubado Ø d
Zona a aislar
Estrato de baja permeabilidad
Formación acuífera

Cuando se llena por completo el tubo con agua y la misma sale por la válvula de venteo sin aire, se procede a cerrar ésta. Mientras tanto el agua comienza a fluir también por el espacio anular entre el pozo y el tubo a cementar:

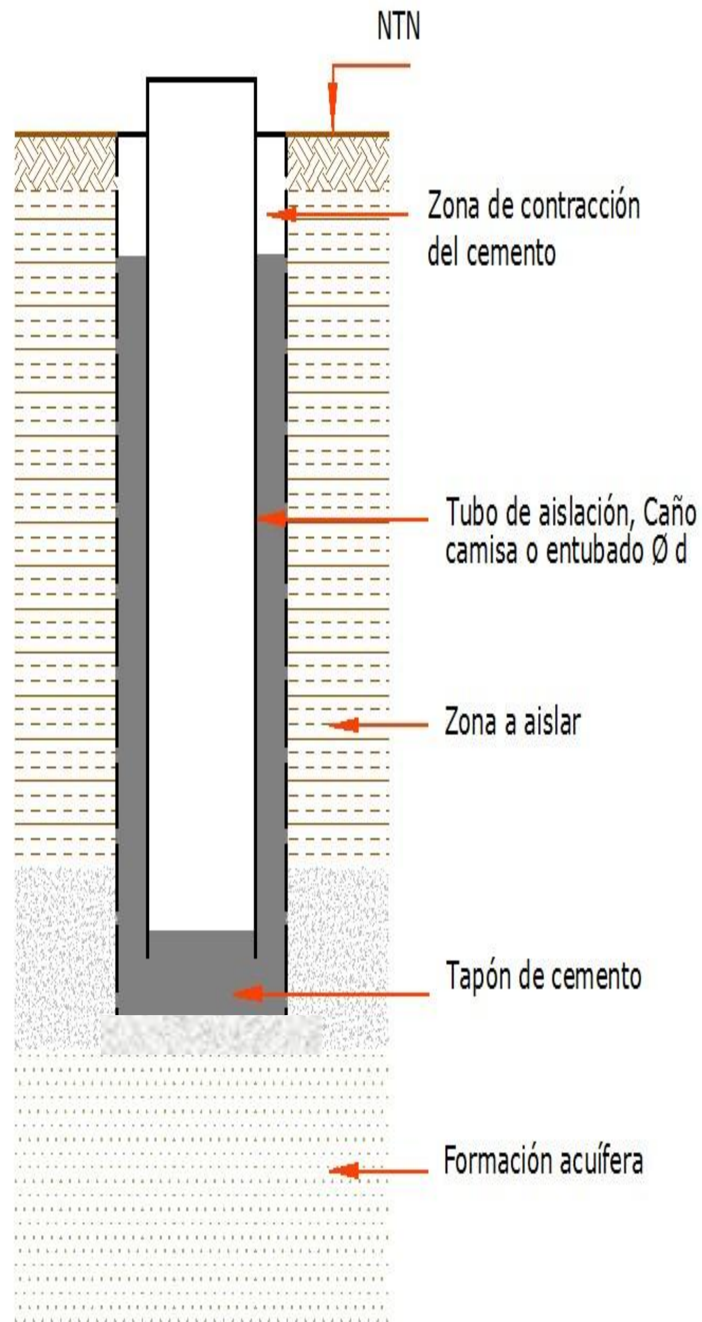


Se inicia entonces la inyección de la pasta de cemento que de esta manera baja por el tubo central y comienza a subir por el exterior del tubo de ademe o camisa desplazando al agua del espacio anular externo que se desborda en la superficie. La inyección no progresa por el interior dado que éste se encuentra completamente colmado de agua y el tapón superior impide la salida de la misma.

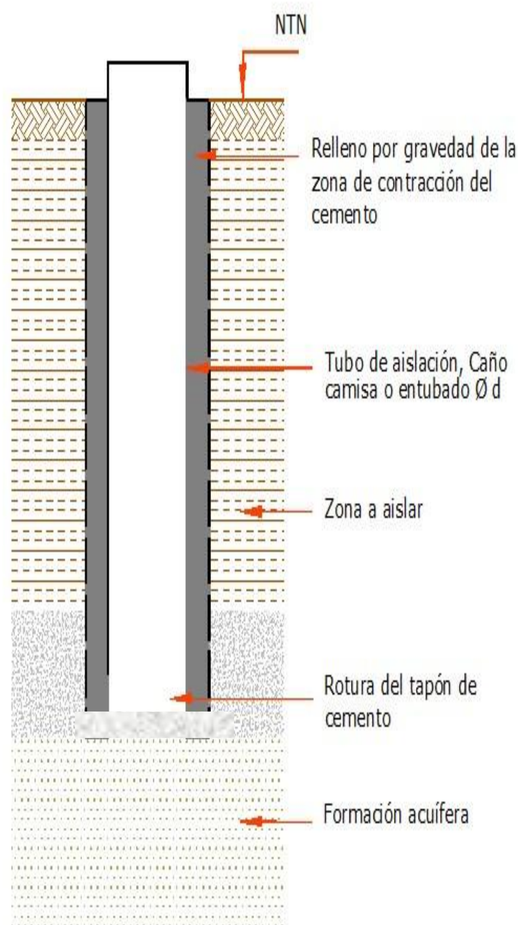


Se obtiene así una configuración de la pared de cemento externa que se va compactando por su propio peso, asegurando que no queden oquedades y

acomodándose perfectamente a la superficie externa del tubo y a las irregularidades de la pared interior del pozo:



La inyección de cemento cesa cuando la lechada de cemento emerge por el exterior del tubo. Finalmente, se rellena por la parte externa el espacio que el cemento deja por la contracción que sufre al fraguar.



Una vez fraguado el cemento, se debe romper el tapón inferior que queda conformado en la desembocadura del tubo de ademe o camisa, a fin de poder continuar con las tareas de perforado y demás maniobras para la instalación del filtro o rejilla. Se posee ahora una sólida y confiable plataforma desde donde continuar trabajando, con un tubo bien afirmado y sin peligro de desmoronamientos o fugas de inyección por el exterior del tubo de ademe o camisa.

Recomendaciones a tener en cuenta: el tapón superior y en general los elementos que integran el cabezal de inyección deben ajustar perfectamente y no tener fugas ya que de lo contrario el volumen de aire o de agua que escape al exterior será sustituido por uno igual de lechada de cemento que subirá por la parte inferior del tubo y complicará después su rotura para continuar la perforación.

El tubo a cementar debe quedar ligeramente elevado del fondo del pozo y preferentemente debe ser presionado y desplazado hacia abajo al concluir con la inyección de la lechada.

El fin de la operación de inyección de la lechada de cemento queda indicado cuando la misma llega a la superficie, adonde se anuncia por el color gris característico que indica la presencia del cemento. El completamiento de la cementación debido al asentamiento y a la contracción de fragüe, se hace por el exterior del tubo.

Para romper el tapón de cemento que inevitablemente se formará en el interior del tubo habrá que dejar transcurrir no menos de 24 horas y se deberá proceder con sumo cuidado a fin de no dañar al tubo, en especial si el tubo de camisa o ademe es de material plástico.

3.2 MAQUINAS DE PERFORAR

La adecuada construcción de una captación de agua subterránea requiere no sólo conocimientos de parte de la empresa contratista que ejecute los trabajos, sino también que ésta posea el equipamiento adecuado.
Los pozos destinados al abastecimiento público, servicios centralizados de distribución de agua por red, para uso industrial o riego, son en general tareas que involucran la apertura de agujeros que pueden ir desde diámetros de 20 cm a 60 cm o más, dependiendo de las dimensiones de los tubos a instalar, la necesidad de construir pozos telescópicos con sucesivas reducciones de diámetros y en muchos casos además de ello, de profundidades considerables necesarias de alcanzar como consecuencia del perfil litológico del lugar.

Estas obras se deben ejecutar con equipos de porte adecuados, diseñados para estas tareas y en buen estado de uso y mantenimiento.

Además de la propia maquinaria hay una considerable cantidad de herramental y equipamiento accesorio con que se debe contar tal como barras, trépanos, bombas centrífugas y de pistón, compresores, etc..

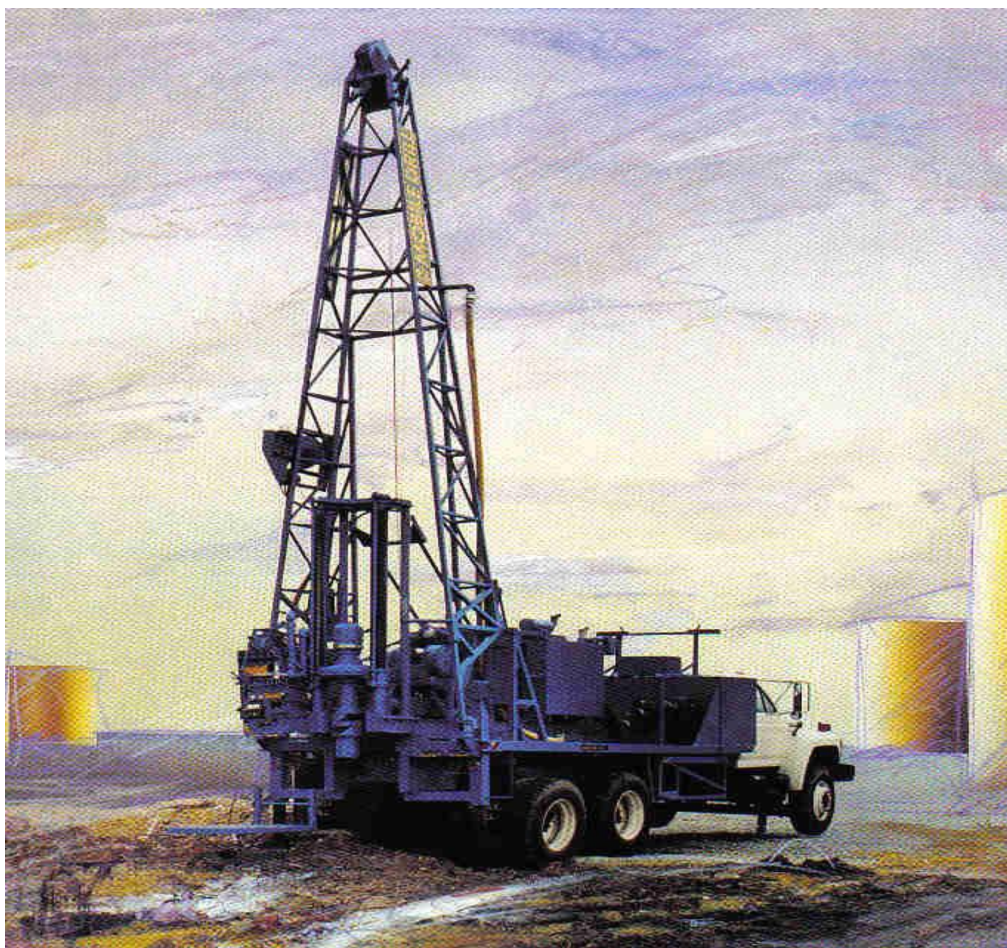
Todo ello indica que se debe considerar en la contratación los antecedentes comprobables del contratista, tanto en lo referente a obras de igual capacidad como al conocimiento detallado de la zona en donde se desenvolverán los trabajos y además que la empresa posea el equipamiento necesario.

Esta tarea de construir pozos para agua es una mezcla de artesanía y tecnología, el perforista concienzudo y capacitado, podrá ejecutar más rápido y con mejores resultados la obra, eventualmente encontrará la manera de resolver los problemas que se presenten y brindará posteriormente un servicio de consulta frente a posibles inconvenientes que ocurran en el transcurso de la vida útil de la captación, haciendo que ésta se prolongue todo el tiempo posible con el mejor rendimiento.

En muchos lugares se ha reglamentado la profesión de perforista pero en muchos otros, perforar pozos sigue siendo una tarea de gente informal y en un gran número de casos los trabajos están a cargo de personal con bajo nivel de capacitación y pobremente equipado.

Una vez más debemos insistir en la conveniencia de establecer la matriculación obligatoria de los perforistas, con la exigencia de poseer el equipamiento necesario y efectuar periódicamente cursos de capacitación y actualización profesional.

El agua subterránea es un recurso que debemos explotar con habilidad y responsabilidad a fin de que continúe sirviendo al conjunto de la sociedad.



Ejemplo de un equipo moderno de perforación montado sobre camión. En general los equipos de perforar de gran porte se colocan sobre un camión para asegurar su movilidad con mucha agilidad al evitar que para cada trabajo haya que armar y desarmar un gran número de componentes. Un equipo de estas características puede montarse y comenzar a perforar en una misma jornada de trabajo. La torre o pluma es rebatible con una simple operación por medio de pistones hidráulicos. Estos equipos utilizan a menudo mecanismos forzadores de avance que presionan hacia abajo al conjunto de barras de perforar y trépano, a fin de acelerar la penetración. En ocasiones y por el tipo de estrato que se esté perforando, esta operación provoca desviaciones del eje del pozo de la vertical, las cuales están contraindicadas ya que pueden causar serios problemas en la operación de instalación de los tubos y posteriormente de los equipos de bombeo. Asegurar la verticalidad del pozo es otro de los cuidados que debe tenerse durante la construcción del pozo.

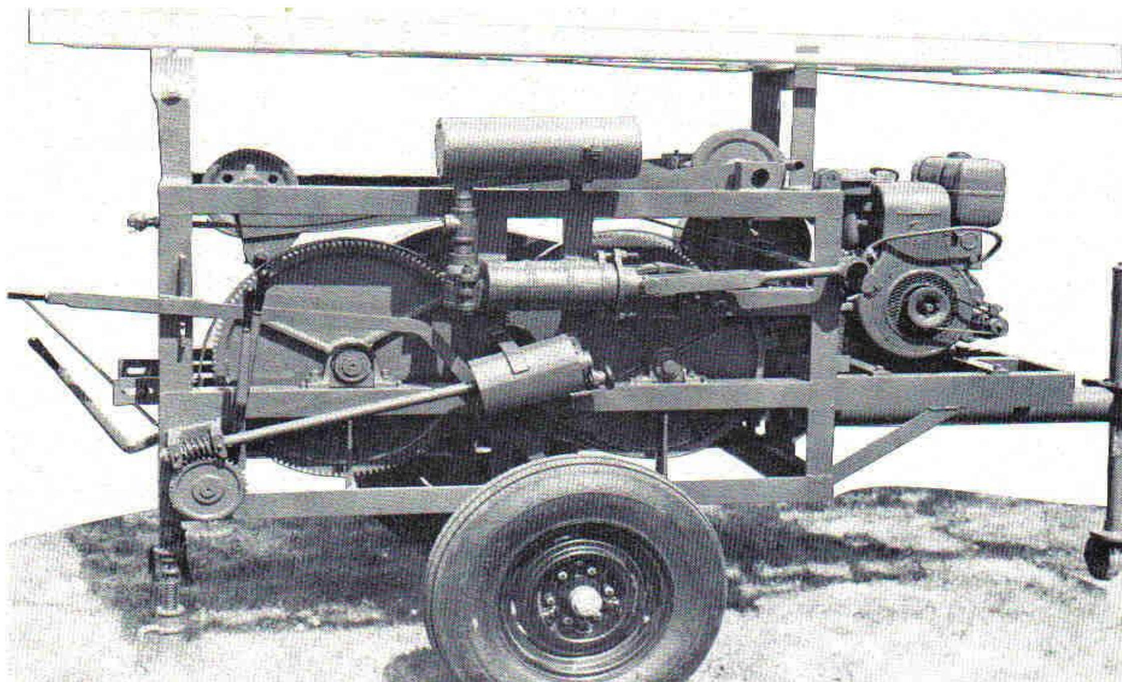


Esta ilustración muestra parte de la torre o pluma de la máquina y un polipasto o aparejo de cables de acero ocupando el eje de perforado probablemente durante la operación de instalar la camisa o ademe.

Las que siguen son otros ejemplos de equipos de perforar rotativos sobre camión y una máquina de arrastre (no autopropulsada) que emplea el método de percusión. Este último caso es el de una máquina pequeña ya que en general las perforadoras por percusión suelen ser equipos pesados y mucho más robustos.

3.2 MAQUINAS DE PERFORAR
Ejemplos









Máquinas de Perforar
Equipo de percusión Método Canadiense



La perforadora de la foto se encuentra ocupada en la instalación de un filtro o rejilla. El operador está soldando los tramos de filtro entre sí mediante soldadura eléctrica.

En primer plano se ve parte de los materiales sedimentarios extraídos durante la perforación.

3.3 MATERIALES EMPLEADOS EN LA CONSTRUCCION DE POZOS

- Camisa, revestimiento o ademe
- Otros entubados
- Filtro, criba o rejilla
- Materiales varios: cierre anular, prefiltro, cementación.

MATERIALES EMPLEADOS EN LA CONSTRUCCION DE POZOS: operación de entubado con PVC



82

TUBERIAS

El tubo de camisa o ademe debe soportar el empuje del terreno, asegurar la estanquidad y ser resistente a las condiciones ambientales, en especial a los mecanismos de corrosión electroquímica y galvánica.

Los tubos de acero que habitualmente se emplean están normalizados siendo una de estas normas la ASTM A53. Existen además tubos sin costura de gran resistencia como es el caso de los fabricados según el proceso Mannesmann o con costura en espiral (tubos Armco). Todos ellos son aptos para su empleo en perforaciones, confiándose en un sobre espesor de la pared para lograr la resistencia a la corrosión, cuando no poseen un revestimiento especial.
Entre estos últimos los que se han manifestado como más adecuados son los de pinturas o revestimientos epoxídicos por encima de los pintados sea con pinturas asfálticas con base de hidrocarburos o con pinturas antióxido o de convertidor de óxido y de los galvanizados o cincados, éstos en especial cuando son por deposición electroquímica se demuestran francamente inadecuados para su uso en contacto con el terreno.

En todos los casos subsiste el problema de revestir las soldaduras hechas a boca de pozo durante la instalación de los entubados. Los remiendos que se hacen en ese momento sobre revestimientos previamente ejecutados en fábrica difícilmente alcancen su misma resistencia a la corrosión.

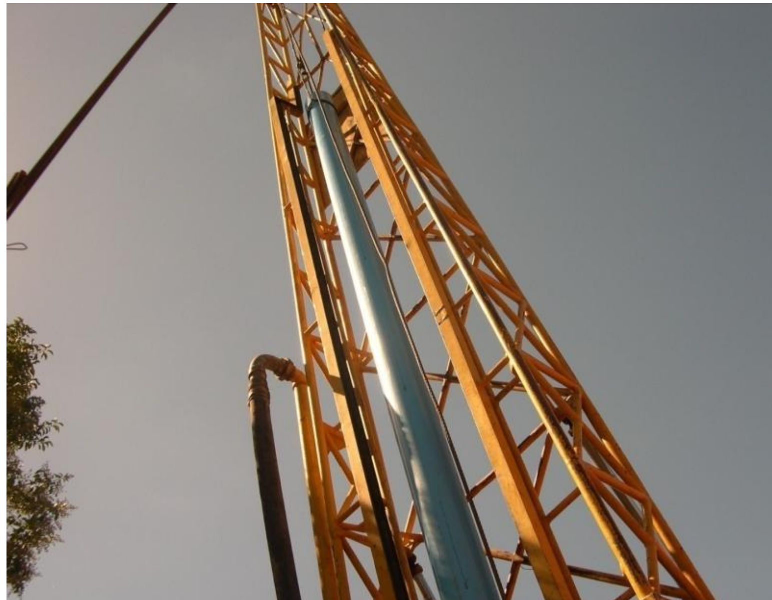
Los tubos de PVC se han constituido en una alternativa cada vez más ventajosa, al lograr aunar a su reconocida resistencia química y a la corrosión, una mejora en su resistencia mecánica, aseveración especialmente cierta en el caso de los llamados tubos geomecánicos, de PVC con nervaduras exteriores.

Antiguamente se emplearon tubos de cemento o de asbesto cemento, aunque actualmente estos materiales ya no se usan en perforaciones, siendo su principal inconveniente la manipulación por su elevado peso y fragilidad. Otro problema importante consiste en resolver el empalme de estos tubos entre sí.

Lo dicho para el ademe o camisa es válido para otros tipos de tuberías tales como el portafiltro, incluyendo el tramo de tubo ciego o depósito que suele colocarse en la parte inferior de la rejilla o filtro (puede ser del orden de 1 metro de longitud) y que sirve para alojar objetos tales como tornillos, algún componente de la bomba o algunos granos de grava que accidentalmente puedan haber ingresado al pozo evitando de esta manera que causen algún daño al equipo de bombeo.

En cambio para la instalación de los equipos de bombeo, que requieren según veremos más delante de una columna de suspensión, es frecuente emplear tubos galvanizados en razón de que en esa posición los tubos no tienen contacto con el terreno y por el tipo de revestimiento no desprenden óxido de hierro que pueda incorporarse al agua bombeada.

MATERIALES EMPLEADOS EN LA CONSTRUCCION DE POZOS: operación de entubado con PVC





FILTROS, CRIBAS, REJILLAS o CEDAZOS:

La selección del filtro, criba, rejilla o cedazo requiere de un cuidado particular, ya que según se lo llamado acertadamente es el “corazón del pozo”. En efecto la mayor parte de las fallas de una perforación se dan por fallas en el filtro sea por su colocación deficiente pero también y más a menudo por una inadecuada selección del tipo constructivo o material utilizado.

La función de la rejilla o filtro es contener al material que conforma el acuífero o bien en algunos casos como veremos al prefiltro (también llamado en ocasiones filtro) de grava o gravilla. En este último caso quién contiene verdaderamente al material del acuífero es esta formación artificial de grava.

Por otra parte y según se proyecte la construcción de la captación en función de la granulometría de la formación acuífera, la criba, rejilla o filtro debe permitir el desarrollo operación que, en el caso de estar prevista, reviste una gran importancia para asegurar el rendimiento y la vida útil de la captación.

Es decir que la superficie filtrante debe presentar una conformación tal que permita el paso del agua con la menor pérdida de carga posible y no se obstruya fácilmente sea por colmatación o por incrustación. La colmatación es el proceso mediante el cual las ranuras o aberturas del filtro o criba son obstruidas mecánicamente por las partículas del material que conforma la formación acuífera y la incrustación se refiere a la deposición o precipitación de sales sobre las aberturas como producto del fenómeno descripto oportunamente al analizar la química de las aguas subterráneas.

Recordemos que una velocidad inconveniente por lo elevada, produce una baja de presión localizada (Principio de Bernoulli) que ocasiona a su vez el desdoblamiento de los bicarbonatos normalmente presentes en las aguas subterráneas con la consecuente formación de carbonatos insolubles que terminan depositándose sobre las ranuras o aberturas del filtro disminuyendo su tamaño. Este fenómeno se potencia a sí mismo al producir un nuevo incremento de velocidad y su consecuente nueva baja de presión y así sucesivamente. La colmatación favorece este mismo proceso al reducir a su vez el área de pasaje del agua.

Por otra parte existen también fenómenos de corrosión, aún presentándose el mecanismo de precipitación antes descripto, en consecuencia la rejilla deberá estar construida en un material del cual se conozca su resistencia a la corrosión, con la que, entre otros factores, se estime la vida útil de la captación.

A continuación se detallan los tipos de filtro que se han venido utilizado en los pozos de captación de agua para abastecimiento público, industrias o riego muchos de los cuales se han ido abandonando para pasar a emplear los filtros de ranura continua.

Empero se utilizan aún masivamente los filtros de mallas para pozos de bajo caudal.

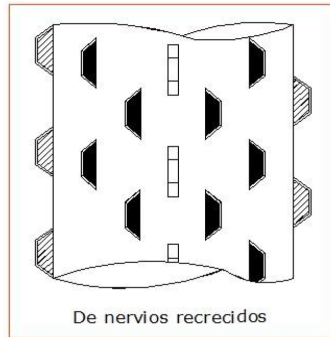
No debe olvidarse además que una gran cantidad de pozos se siguen construyendo sin la instalación de filtro alguno.

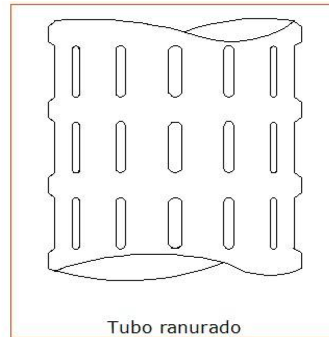
Los filtros simplemente ranurados o perforados, se utilizan sólo en zonas con formaciones acuíferas constituidas por gravas (granulometría de más de 2 mm) o bien con prefiltro artificial de grava, pero aún en estos casos presentan rendimientos menores que los que se obtendrían con rejillas de construcción más elaborada. La construcción de estos filtros sobre tubos de PVC nervados le ha dado nuevo impulso a este tipo de configuración pero al presentar gran espesor y ranuras de ancho constante resultan sin embargo muy vulnerables a la colmatación. Su mayor ventaja reside en la ausencia total de corrosión y en su resistencia a los eventuales agentes dispersantes o desincrustantes que puedan emplearse en caso de incrustación por deposición de sales.

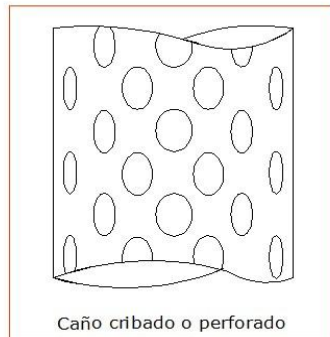
Los filtros de nervios recrecidos con aberturas por las cuales el agua entra en dirección tangencial a la directriz del cilindro del tubo o bien en dirección paralela a la generatriz del tubo (este último filtro denominado de persiana, celosía o tipo Layne), se han empleado masivamente en captaciones de agua subterránea para medianos y grandes caudales, presentando gran robustez y permitiendo su fabricación con distintos tamaños de abertura bien regulares. Se construyen con chapa cilindrada galvanizada o negra (sin revestimiento). Todavía se los sigue empleando en aguas no agresivas por su relativo bajo costo y robustez.

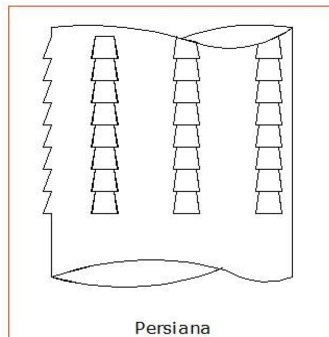
Con la amplia generalización del acero inoxidable se ha ido dejando de lado el empleo de materiales tales como el Monel (aleación de International Nickel co.) y el Everdur (aleación de American Brass Company) aunque se siguen empleando el latón (Zn y Fe) y el bronce (Sn y Fe).

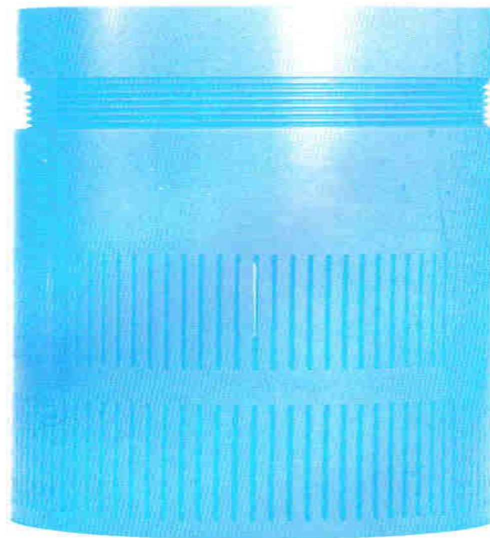
Otro tipo de filtro es el pre – empacado que posee un revestimiento de ebonita o material plástico sobre el acero ranurado y un empaque de grava aglomerada con un adhesivo especial. No requiere la construcción de prefiltro y es apto para aguas agresivas.(Hagusta y otros).


De nervios recrecidos


Tubo ranurado


Caño cribado o perforado


Persiana

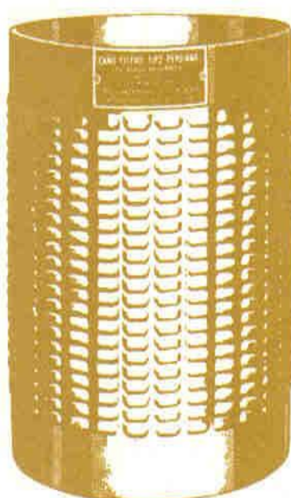


De PVC ranurado

Rejillas o filtros de tipo celosía o persiana

CAÑOS FILTRO PERSIANA TIPO LAYNE

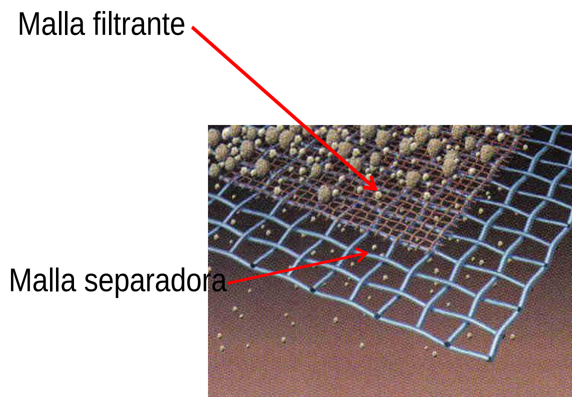
CARACTERISTICAS: Construidos en chapa SAE 1010 en dos tramos soldados entre sí.
LONGITUD: 3 metros o múltiplo.



DIAMETRO NOMINAL pulg.	DIAMETRO EXTERIOR mm.	ESPESOR mm.	PESO Kg/mt.	CANTIDAD DE HILERAS	ABERTURA Y LONGITUD ESCAMA	PASAJE FILTRANTE mm² x dm²
4	114,3	4,76	12,50	8	1 x 18	310
5	139,7	4,76	15,50	10	1 x 18	310
6	165,1	4,76	18,50	12	1 x 18	310
6	165,1	6,35	25,00	12	1 x 18	310
6⅝	168,3	4,76	19,10	12	1 x 18	310
6⅝	168,3	6,35	25.50	12	1 x 18	310
8	216	4,76	24,60	16	1 x 18	310
8	216	6,35	33,60	16	1 x 18	310
8⅝	291,1	4,76	25,00	16	1 x 18	310
8⅝	291,1	6,35	33,60	16	1 x 18	310
10	273	4,76	31,50	14	1 x 25	245
10	273	6,35	41,60	14	1 x 25	245
12	323,9	4,76	37,20	16	1 x 25	245
12	323,9	6,35	49,50	16	1 x 25	245
14	355,6	4,76	41,50	18	1 x 25	245
14	355,6	6,35	54,50	18	1 x 25	245

3.3 MATERIALES EMPLEADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE POZOS

Rejillas o filtros de mallas o redes



Rejilla o filtro de mallas metálicas o plásticas

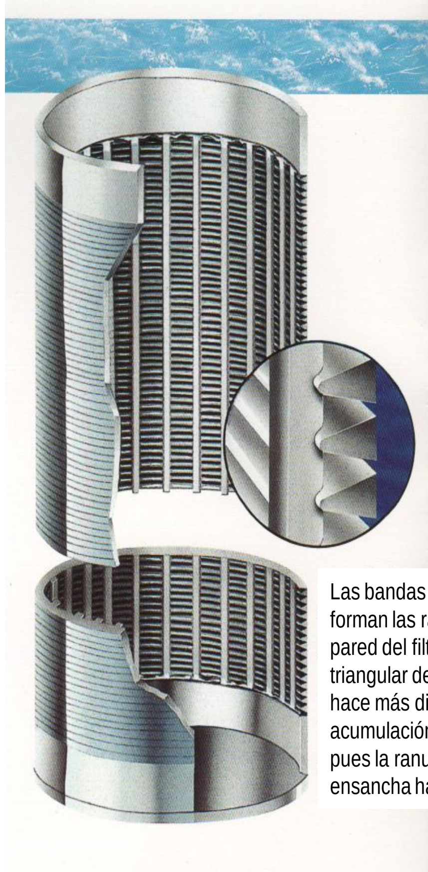
Son filtros o rejillas de malla (metálicas de cobre estañado, bronce o acero inoxidable o bien de materiales plásticos) colocadas sobre tubos de acero galvanizado o negro. Se utilizan masivamente en pequeñas captaciones como los pozos domiciliarios dado que son económicos y detienen con facilidad las arenas finas resultando simples de instalar no requiriendo prefiltro de grava. En contraposición no permiten el desarrollo y se colmatan fácilmente. Son muy vulnerables a la incrustación.

En los últimos años se comercializan filtros o cribas enteramente plásticas construidas con mallas envueltas sobre tubos de PVC perforados.

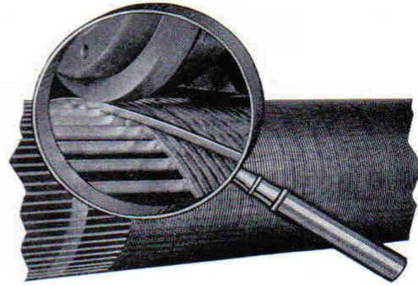
Presentan la ventaja de ser incorroscibles y las mismas desventajas antes señaladas con el agregado de su menor resistencia mecánica.

Es preferible la construcción que incluye una malla separadora que es la que se encuentra en contacto con el tubo base y separa o despega a la malla filtrante de la superficie del tubo, a fin de permitir que el agua ingrese no sólo por la sección de malla filtrante que está enfrentada con los orificios del tubo base, sino que el agua pueda desplazarse por debajo de la malla filtrante hasta alcanzar uno de los orificios. Esta configuración mejora el rendimiento en relación a una construcción sin malla separadora.

3.3 MATERIALES EMPLEADOS EN LA CONSTRUCCION DE POZOS: Filtro o rejilla de ranura continua



Las bandas o alambres forman las ranuras y la pared del filtro. El perfil triangular del alambre hace más difícil la acumulación de arena, pues la ranura se ensancha hacia adentro.



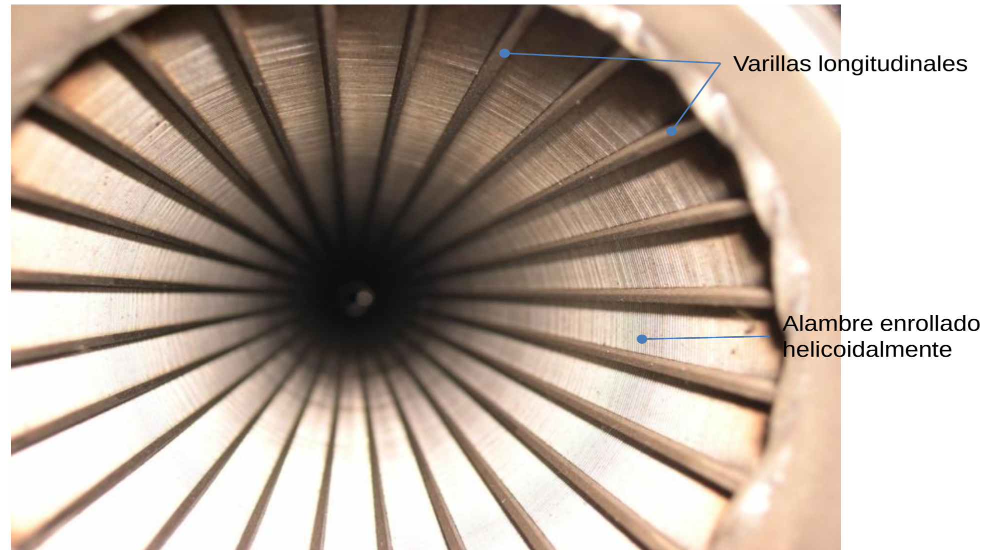
La rejilla consiste en una tira o alambre de metal que se enrolla helicoidalmente alrededor de un armazón de barras paralelas.



109

El filtro de ranura continua fabricado con un alambre de sección triangular enrollado sobre varillas longitudinales a demostrado ser el que posee mayor área abierta por metro longitudinal y el de mejor comportamiento frente a la colmatación. Su resistencia a la corrosión descansa en la elección del material que puede ser en orden de menor a mayor resistencia: de acero sin revestir, galvanizado o inoxidable AISI 304 o AISI 316, este último material especialmente recomendado para aguas con alto contenido de cloruros. (Jonhson y otros).

MATERIALES EMPLEADOS EN LA CONSTRUCCION DE POZOS: Filtro o rejilla de ranura continua



86

MATERIALES EMPLEADOS EN LA CONSTRUCCION DE POZOS: Filtro o rejilla de ranura continua



87

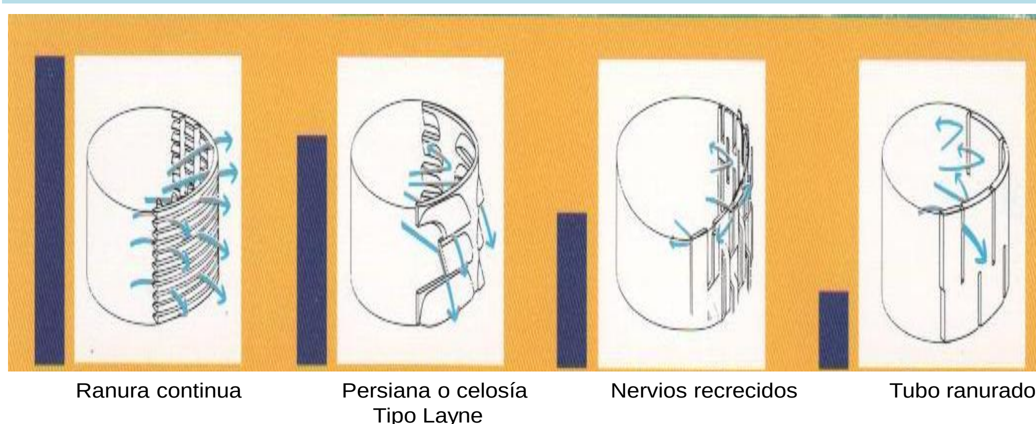
Comparación de área abierta rejilla en celosía con rejilla de ranura continua

Ø nominal	Ø exterior rejilla Layne	Ø ext. rejilla de Ranura Continua	Área abierta en cm2/m de longitud de rejilla	
Pulg.	mm.	mm.	Layne	Ranura continua
4	114,3	112	111	1384
5	139,7	137	136	1690
6	165,1	165	161	2030
8	216	218	210	2097
10	273	269	210	2230

Comparación para una ranura de 1 mm de ancho

27

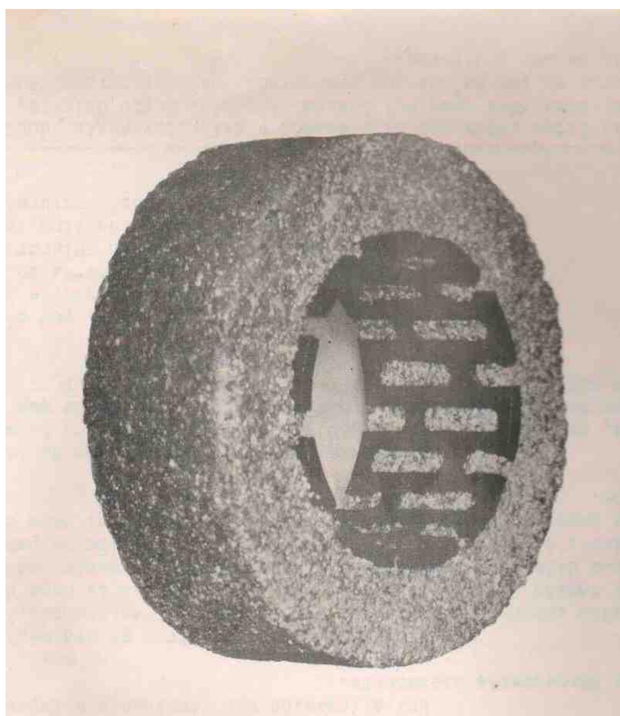
3.3 MATERIALES EMPLEADOS EN LA CONSTRUCCION DE POZOS: Comparación de distintos filtros



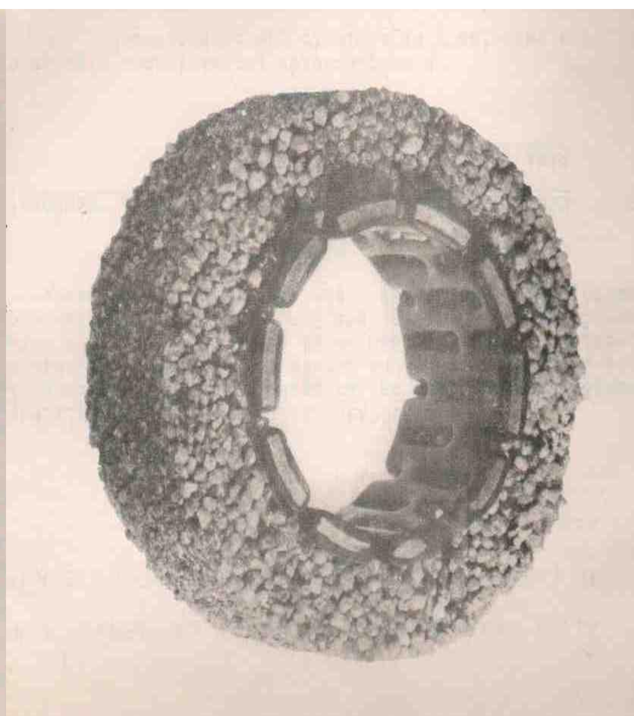
Ranura continua — Persiana o celosía Tipo Layne — Nervios recrecidos — Tubo ranurado

113

3.3 MATERIALES EMPLEADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE POZOS
Rejillas o filtros pre empacados



Base acero, recubierto con resina artificial y anillo de arena gruesa de 0,7 – 1,2 mm. Indicado para aguas poco agresivas



Base acero, recubierto con goma dura y anillo de arena gruesa de 2 – 3 mm. Indicado para aguas agresivas, termales, etc.

116

3.4 PRUEBA O ENSAYO DE POZOS

- Niveles estático y dinámico.
- Abatimiento y abatimiento residual
- Rendimiento del pozo
- Capacidad específica
- Selección del equipo de bombeo
- Información para evaluación del acuífero

118

3.4 PRUEBA O ENSAYO DE POZOS

- La prueba o ensayo de un pozo puede tener dos propósitos: conocer como funciona la captación o bien obtener información de las características principales del acuífero.
- Nuestro enfoque se dirige al primer objetivo.
- El estudio de un acuífero o "prueba de acuífero" debe hacerse con varias captaciones.
- Sin embargo, si se hace apropiadamente, el ensayo de un pozo debidamente registrado, servirá sin duda como herramienta muy valiosa para evaluar en su conjunto al acuífero que se explota.
- En términos prácticos la "prueba de acuíferos" se compondrá de un cierto número de ensayo de pozos que lo exploten.

119

Los ensayos de pozos tienen por finalidad determinar los parámetros propios de esa captación, no obstante se pueden obtener algunas conclusiones que sirvan para evaluar el acuífero en su conjunto.

Entre los parámetros que se miden en el pozo se tienen los niveles estático y dinámico, el abatimiento, descenso o depresión para un caudal determinado y el abatimiento residual el cual se determina al cabo de un cierto tiempo de detenido el bombeo y que da una idea de la capacidad de recuperación del pozo y por extensión del acuífero.

El caudal posible de extraer para el abatimiento considerado aceptable y la capacidad específica son otras determinaciones importantes. Finalmente es posible seleccionar el mejor equipo de bombeo, en caso de ensayarse con una bomba auxiliar o provisional.

La prueba de un pozo consiste básicamente en:

- Medir el caudal erogado (descarga en la unidad de tiempo)
- Determinar como evoluciona el abatimiento o descenso del nivel de agua dentro del pozo con el tiempo de bombeo.(curva abatimiento- tiempo)
- Examinar el agua para verificar si arrastra sedimentos (arena, grava, etc.) o si presenta turbidez.
- Analizar química y/o bacteriológicamente el agua para conocer sus propiedades o para establecer si es apta para el uso al cual está destinada.
- En su caso, verificar el funcionamiento mecánico y eléctrico del equipo de bombeo empleado.

Hay dos tipos de ensayos básicos que permiten obtener información diferenciada:

- A caudal variable o escalonado.
- A caudal constante.

Con el primero se procura determinar cuál es el caudal para el cuál la captación tiene su mejor rendimiento específico o capacidad específica.

Por ejemplo se prueba un pozo, con empaque de grava, bombeando durante 1 hora con cada caudal y se obtienen los siguientes datos:

1. Caudal de 30 m^3/h, con un caudal específico a 1 hora de : 8,90 m^3/h.m
2. Caudal de 60 m^3/h, con un caudal específico a 1 hora de : 10,00 m^3/h.m
3. Caudal de 80 m^3/h, con un caudal específico a 1 hora de : 10,90 m^3/h.m
4. Caudal de 100 m^3/h, con un caudal específico a 1 hora de : 9,85 m^3/h.m

Método de bombeos escalonados

Para el cálculo de los coeficientes de la fórmula general de descensos introduciremos los valores de un bombeo (Q,s) en la fórmula general

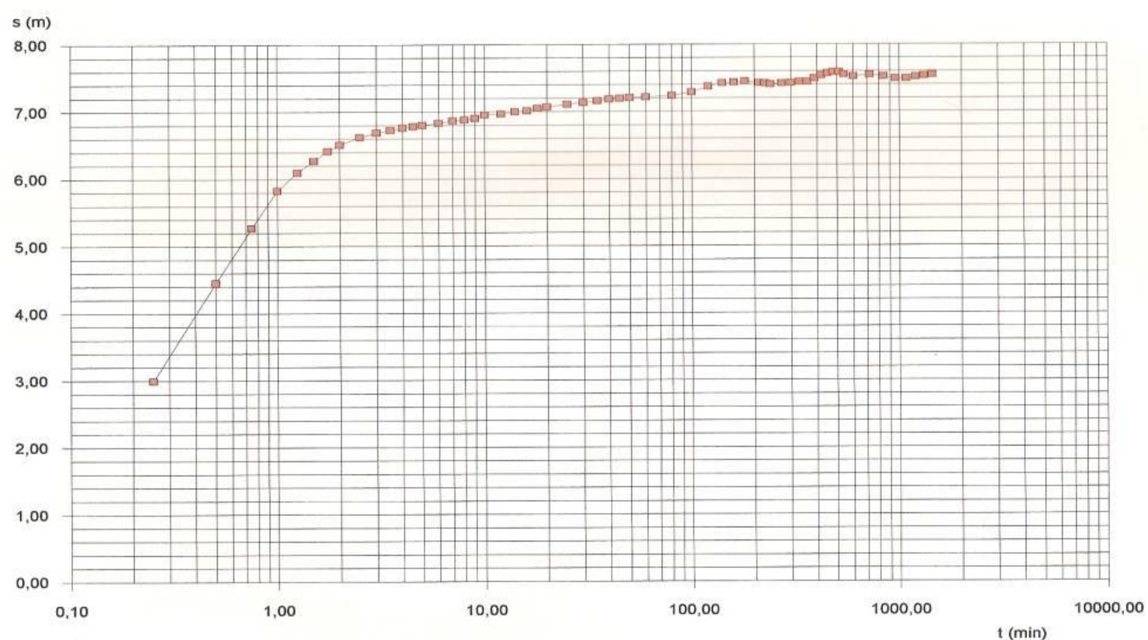
Adonde son tres las incógnitas a conocer: B, C y n, siendo necesario, al menos, una terna de valores para poder resolver el sistema:

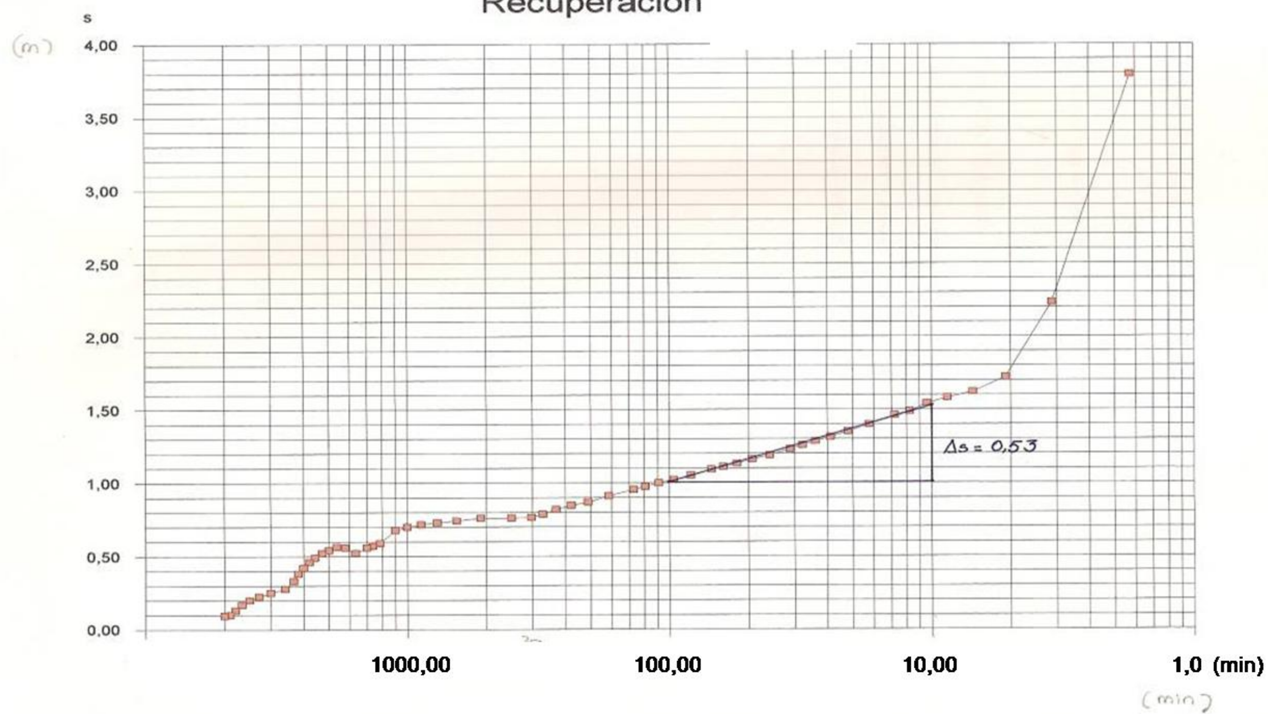
*s= B*Q + C*(Q^n)*

Esta terna de valores se obtendrá a partir de tres bombeos realizados con diferentes caudales y de la misma duración. Los caudales de bombeo serán crecientes y no conviene que sean muy dispares, ya que puede pasarse de un régimen laminar a otro turbulento al aumentar excesivamente el caudal.

Mientras que C varía a medida que el pozo se desarrolla el coeficiente B debe ser constante dado que no depende del estado del pozo sino de las características del acuífero. En un ensayo ideal cuando se observa un declive en el caudal específico es porque C alcanzó su menor valor es decir se completó el desarrollo y la variación de la pérdida de carga total comienza a responder a la fórmula indicada adonde tanto B como C se supusieron constantes.

Son varias las posibilidades de ejecución del bombeo escalonado: recuperación total, recuperación parcial, sin recuperación, con estabilización o no de niveles, y con igual o no duración de los escalones. En todos los casos se indican los tiempos a los que deben ser tomados los niveles, que deben ser de la misma duración.


Bombeo a Caudal Constante POZO 52
s (m)
8,00
7,00
6,00
5,00
4,00
3,00
2,00
1,00
0,00
0,10
1,00
10,00
100,00
1000,00
10000,00
t (min)


Recuperacion
s
(m)
4,00
3,50
3,00
2,50
2,00
1,50
1,00
0,50
0,00
Δs = 0,53
1000,00
100,00
10,00
1,0 (min)
(min)

3.4 PRUEBA O ENSAYO DE POZOS

- <u>Determinación de la Transmisividad</u>:

Del gráfico de Recuperación se obtiene Δs = 0,53m

Aplicando la fórmula modificada de no equilibrio (Jacob)

$$s = 0{,}183 \times \frac{Q}{T} \times \log \frac{2{,}25 \times T \times t}{r^2 \times S}$$

Donde:

T: es Transmisividad (m^3 /m.día)

Q: caudal (m^3/día)

Siendo: s: abatimiento genérico y haciendo: Δs= s – s': diferencia entre dos abatimientos para tiempos que difieren en 10, en cuyo caso la diferencia de logaritmos es igual a 1:

$$\Delta s = s - s' = 0{,}183 * \frac{Q}{T} * (\log(k * t) - \log(k * t'))$$

Resulta en consecuencia:

$$T = 0{,}183 * \frac{Q}{\Delta s}$$

Para el ejemplo que se desarrolla: es T = 0,183*(80*24)/0,53= 662,94 m^2/día

T = 662,94 m^2/día

125

- <u>Determinación de la Permeabilidad calculada:</u>

Empleando la fórmula teórica de la Transmisividad: T= K * b

Adonde :

K: permeabilidad

b: espesor del acuífero

Es: K = T/b

K = 662,94 m^2/día / 19 m = 34,89 m/día

ó

K= 0,04 cm/s

3.5 ASPECTOS CONSTRUCTIVOS MAS SIGNIFICATIVOS

- Profundidad: no es sinónimo de calidad
- Colocar los entubados a la profundidad exacta que indican los estudios previos o la experiencia fundada
- Aislar correctamente las capas de agua indeseables
- Colocar adecuadamente la rejilla, filtro o criba
- Limpiar
- Desarrollar
- Desinfectar

La profundidad total y la de los distintos estratos naturales que interesan, deben definirse en base al perfil litológico y al conocimiento detallado del terreno en el lugar adonde se construye el pozo, sea que se ha adquirido por experiencia previa o, mejor aún, por la construcción de un pequeño pozo de reconocimiento previo que a menudo se ejecuta en el mismo lugar sin desplazar al equipo perforador.

Por limpieza del pozo se entiende a la operación de eliminar los restos del lodo de inyección. Esta operación a menudo se ejecuta simultáneamente con el desarrollo del pozo.

Entre los aspectos más importantes a considerar para la construcción del pozo se encuentra además la determinación del lugar de emplazamiento (ubicación) del pozo.

EMPLAZAMIENTO DE LA CAPTACIÓN
Factores para su elección

- Conocimiento de las condiciones hidrogeológicas.
- Reglamentaciones: distancias a medianeras, edificios, etc.
- Cercanía con otras captaciones: interferencias - radios de los conos de depresión
- Presencia de fuentes cercanas de contaminación: vertederos de residuos, tanques de almacenamiento y tuberías de conducción de hidrocarburos, etc.
- Niveles del terreno: construir el pozo en un lugar no anegable.
- Influencia del pozo sobre estructuras próximas: particularmente importante durante la construcción. Terrenos colapsables en la superficie. Hundimiento de terrenos durante la explotación.

30

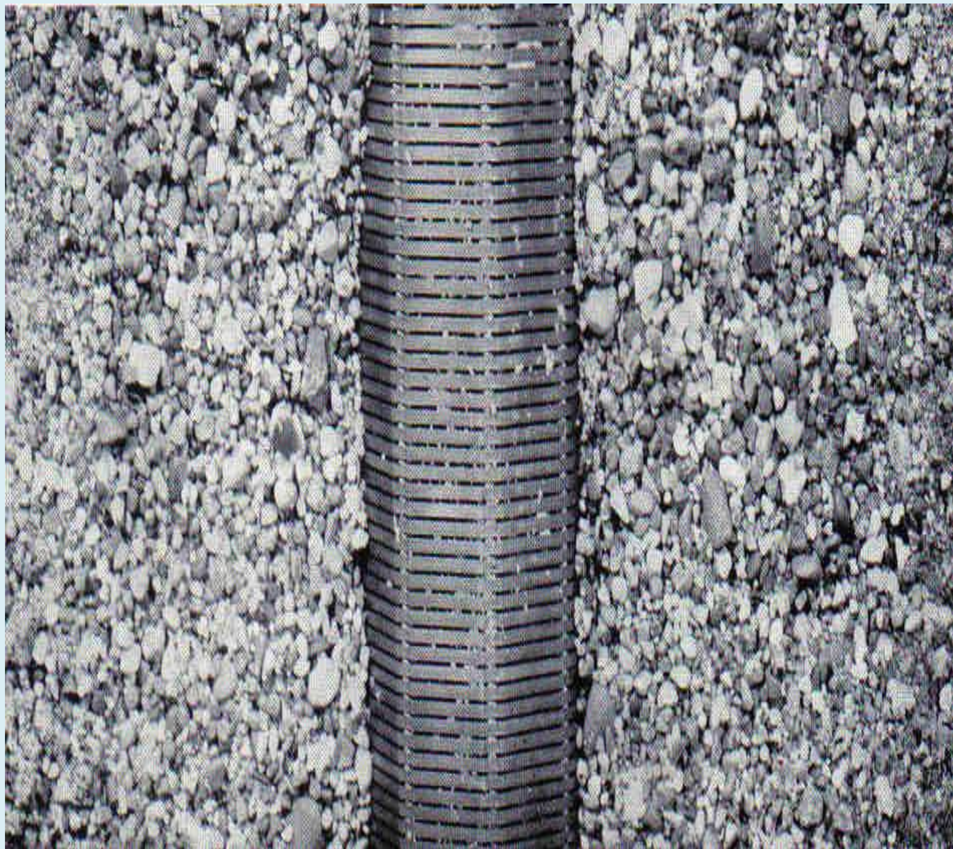
Al seleccionar un sitio para construir un pozo hay que tener en cuenta el espacio en derredor necesario para desarrollar las obras complementarias: accesorios en boca de pozo, cámara o gabinete que pueda cubrirla, obra de toma de energía eléctrica, alojamiento del equipo de dosificación de cloro, etc. .

Un aspecto que no puede ignorarse es el de prever el espacio necesario para las tareas de mantenimiento, extracción y colocación del equipo de bombeo, etc.
Debe considerarse además el espacio aéreo sobre el sitio adonde se va a perforar toda vez que como se ha visto es necesario erigir la pluma o torre del equipo perforador y la misma puede tener hasta 10 ó 12 metros de altura sobre el nivel de terreno adonde se ubique el equipo perforador.

Otra cuestión que debe investigarse previamente es la existencia de instalaciones enterradas que puedan ser afectadas durante las tareas de perforado: conductores eléctricos, cables telefónicos o tuberías de conducción de fluidos, entre los que más comúnmente se encuentran.

3.6 DESARROLLO Y TERMINACION DE POZOS

- Que es el desarrollo?



Fotografía desarrollo en laboratorio. Tomada de Boletín 263. Johnson Well Screen - Irlanda

DESARROLLO Y TERMINACION DE POZOS

- Con el desarrollo que se busca?: eliminar la película de lodo de inyección y los materiales finos. Diferencia con o sin prefiltro de grava.
- Métodos de desarrollo: la importancia de alternar el sentido del movimiento del agua. Pistoneo, aire comprimido, sobre bombeo, contralavado. Chorro de alta velocidad (jet). Hielo seco. Acidos. Agentes dispersores.
- Desinfección: Solución clorógena de unos 100 mg/L.
- Boca de pozo:

Accesorios necesarios: válvulas de regulación y de retención, accesorio de desconexión, grifo para toma de muestras, manómetro, conexión para línea de desinfección, descarga lateral con válvula para ensayos de caudal, ingreso de sonda guardanivel, etc.

32

El desarrollo busca establecer una capa de material de gran permeabilidad alrededor del filtro o rejilla. Para ello se hace necesario eliminar los granos finos del material de la formación natural y dejar que los granos más gruesos presentes en la misma actúen como verdadero filtro previo al ingreso del agua a través de la superficie de la rejilla.
En el caso de pozos perforados por el método de rotación es necesario eliminar además los restos del lodo de inyección.
Esta tarea es posible cuando existe, en la formación natural que conforma el acuífero, una proporción adecuada de material de una granulometría tal que permita emplear una abertura en el filtro compatible con el diseño del pozo.

En la foto que figura arriba se observa la existencia en las proximidades de la superficie de la rejilla, de una zona de algunos centímetros de espesor en donde se ha alterado la mezcla de granulometrías que la formación del acuífero tenía naturalmente, para conformar el filtro o prefiltro con el mismo material de la formación.

Para obtener este efecto se deben remover los granos finos y ello se logra mediante una agitación vigorosa del agua dentro de la rejilla que se transmite a la formación que la aloja fuera de ésta. Los diferentes métodos de desarrollo procuran que el movimiento del agua además de poseer un alto nivel de energía cinética, cambie alternadamente el sentido del flujo del agua a través de la abertura de la rejilla y de la pared del material del acuífero inmediatamente en contacto con ella, de manera tal de romper los llamados "puentes" que son pequeñas estructuras que se forman al acuñarse entre sí los granos del material de la formación y que de otro modo impedirían una adecuada remoción de los granos finos.

Cuando en la formación del acuífero no existe la fracción de material grueso mínima necesaria para establecer el prefiltro natural, se recurre a la interposición entre la superficie exterior de la rejilla y la formación acuífero, de una pared de grava o gravilla de granulometría seleccionada. Este último material es en general de origen fluvial.

<u>Desinfección:</u> tanto el herramental como los materiales empleados en la perforación se encuentran contaminados con bacterias durante la construcción del pozo. Además en muchos casos se atraviesan formaciones que contiene agua contaminada o el lodo de inyección está en esas condiciones. Es necesario entonces que, antes de librar al servicio un pozo que vaya a emplearse para surtir agua destinada al consumo humano, se desinfecte y para ello el mejor recurso sigue siendo emplear una solución clorógena tal que su concentración sea del orden de 100 mg/L de cloro activo. Esta solución debe preferentemente enviarse al interior del pozo por medio de una tubería que alcance la máxima profundidad del pozo y la que se irá elevando paulatinamente a medida que se vierte la solución. El cloro acelera la corrosión de los componentes del pozo de manera que debe extremarse el cuidado en su utilización.

DISEÑO DEL PREFILTRO DE GRAVA

- Desarrollo natural o filtro artificial de grava?
- Mayor costo del pozo con filtro artificial: mayor diámetro, adquisición de la grava, transporte y colocación.
- Otras desventajas: dificultad para eliminar los restos de lodo de perforación y para permitir el pasaje de finos. El empaque de grava no debe tener un espesor excesivo y la grava debe ser lo mas homogénea posible.
- Ventajas del pozo con filtro artificial (o prefiltro): se evita gran parte del tiempo de desarrollo y se asegura el no bombeo de áridos finos causante de graves daños en los equipos de bombeo y en las instalaciones que reciben el agua (obstrucciones, abrasión, etc.).

33

La necesidad de construir un prefiltro de grava o gravilla surge del análisis granulométrico del material que conforma el acuífero y su comparación con la abertura de la rejilla que deba instalarse en razón del caudal de explotación del pozo o de las características de las rejillas existentes en el mercado.

En general los mayores costos de construcción con esta variante se ven compensados por los beneficios obtenidos, fundamentalmente la seguridad que se logra en evitar el bombeo de materiales finos causantes de un sinnúmero de problemas en cualquier instalación de bombeo y distribución de agua.

DISEÑO DEL PREFILTRO DE GRAVA

- Tamaño de las cribas empleadas: desde 6 (3,33 mm) hasta 100 (0,15 mm)

<u>Granulometría de suelos. Clasificación del Servicio Geológico de los EE.UU.:</u>

Grava: > 2 mm
Arena muy gruesa: de 1 a 2 mm
Arena gruesa: 0,5 a 1 mm
Arena mediana: 0,25 a 0,5 mm
Arena fina: 0,125 a 0,25 mm
Arena muy fina: 0,076 a 0,125 mm
Limo y arcilla: < 0,076 mm

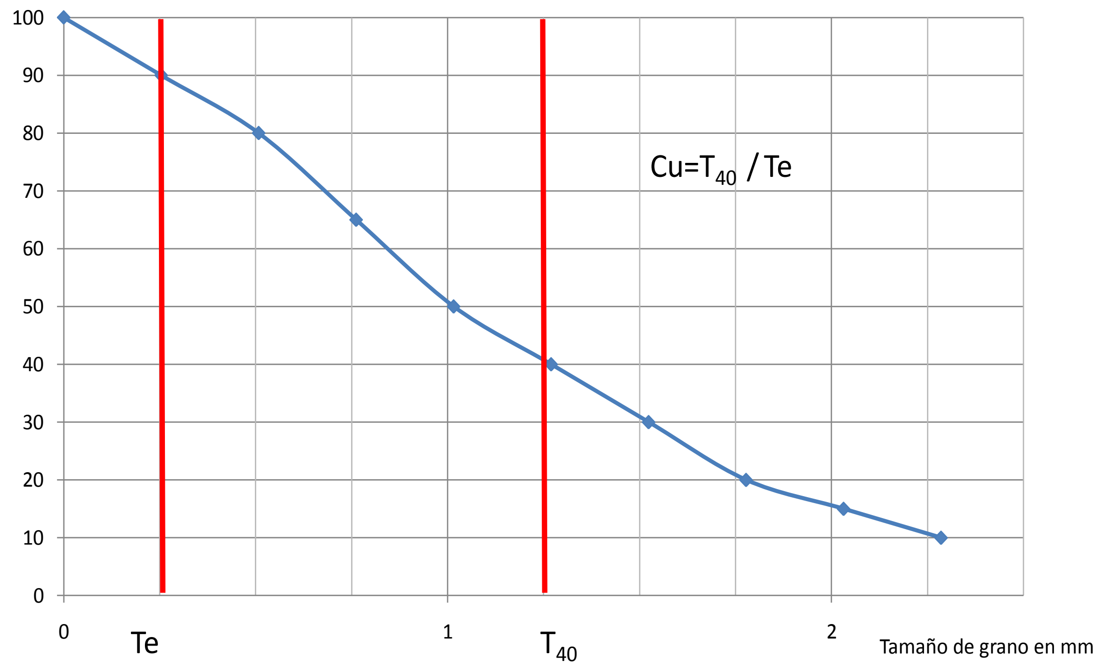
- Tamaño efectivo(Te): tamaño de partículas tal que el 10% de la arena analizada es mas fino que dicho tamaño y el 90% es mas grueso. Es decir que es el tamaño de la criba en el que se retiene el 90% en peso (pasa el 10%).
- Coeficiente de uniformidad: relación del tamaño de criba que retiene el 40% al tamaño efectivo. Cu=T40/Te.

34



Grava o gravilla empleada en la construcción de prefiltros.

DISEÑO DEL PREFILTRO DE GRAVA
Curva granulométrica % en peso retenido



35

El coeficiente de uniformidad Cu es inversamente proporcional a la pendiente promedio de la curva S entre T_{40} y T_{90} = Te. A mayor Cu menor uniformidad y la curva se hace más extendida en forma horizontal en ese tramo, es decir posee menor pendiente. Un Cu=1 implica uniformidad perfecta.

DISEÑO DEL PRE FILTRO DE GRAVA Y DE LAS ABERTURAS DEL FILTRO

- El coeficiente de uniformidad representa la pendiente promedio de la curva granulométrica, en la región comprendida entere los tamaños correspondientes al 40% y al 90%.
- A menor Cu mayor uniformidad de la muestra analizada.
- En los materiales granulares que se han depositado en agua en movimiento, la curva granulométrica tiene la forma de una S.
- Abertura o tamaño de las ranuras del filtro:

  Para desarrollo natural en arena homogénea, se escoge en general el tamaño que retendrá entre el 40% y el 50%.

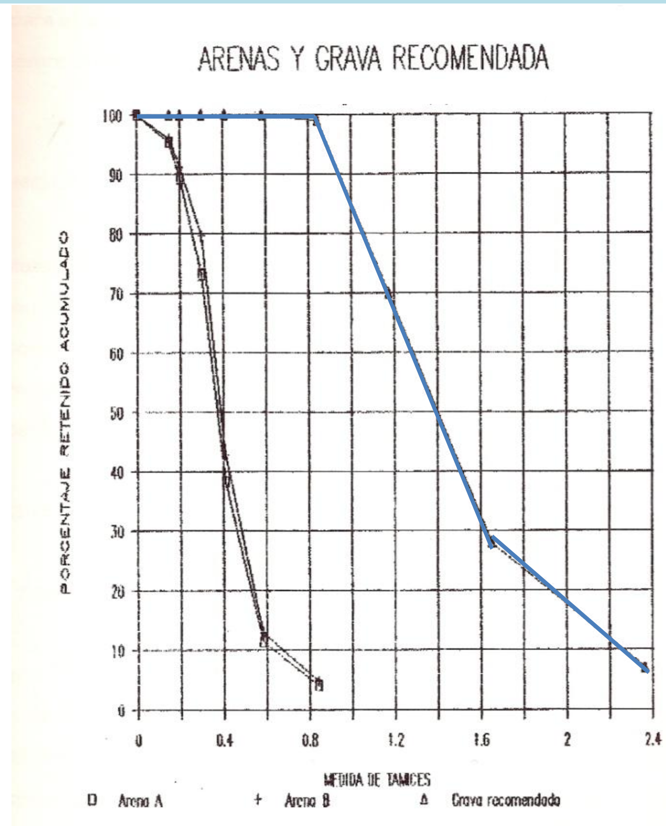
  Para pozo dotado de filtro artificial de grava se elige de manera que ésta retenga prácticamente el 100% de la arena y el tamaño de la rejilla para que retenga la grava.
- Los tamaños menores de ranura se eligen cuando el agua es corrosiva.
- Conviene que el Cu de la grava seleccionada sea lo mas bajo posible(mas uniforme)

36

Se observa que la selección del tamaño de la abertura de la rejilla y el diseño del prefiltro de grava se deben hacer conjuntamente.

La curva que representa el porcentaje retenido en peso en función del tamaño de criba correspondiente, para la grava del prefiltro, debe situarse a la derecha de la misma curva para la arena de la formación.

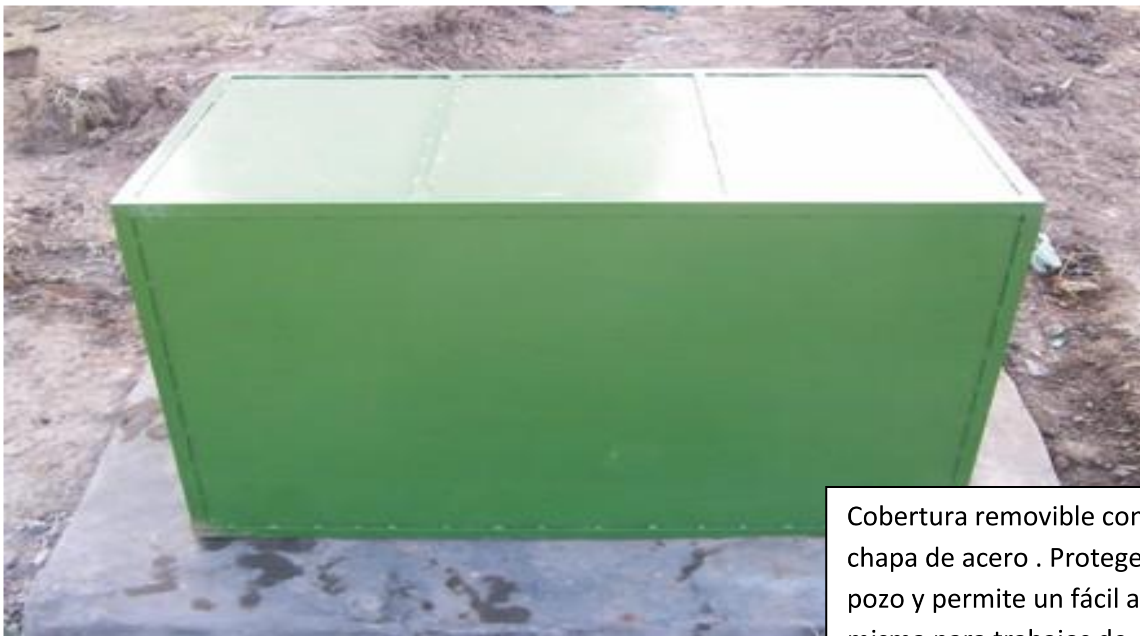
DISEÑO DEL PREFILTRO DE GRAVA



En el caso que se muestra en la figura de arriba, la grava o gravilla recomendada posee la distribución de granulometrías dada por la curva de la derecha. Este prefiltro se construyó siguiendo las indicaciones del análisis granulométrico y la captación resultante funcionó de manera satisfactoria erogando el caudal esperado con un abatimiento acorde con las características hidrogeológicas del sitio de implantación y sin que se apreciara presencia de áridos en el agua bombeada.

DESARROLLO Y TERMINACION DE POZOS
BOCA DE POZO





Cobertura removible construida en chapa de acero . Protege la boca de pozo y permite un fácil acceso a la misma para trabajos de mantenimiento o reparación.

BOCA DEL POZO

Se denomina así a las instalaciones que rematan en la superficie del terreno a las obras de captación.
Se consideran como tales al extremo superior del tubo de camisa o ademe y los accesorios ubicados sobre la descarga de agua para regular (válvula) y dirigir (curvas o codos) el caudal de agua, medir la presión (manómetro) y el caudal (caudalímetro)o el volumen extraído (medidor volumétrico), permitir la inyección de desinfectante (v.g. cloro), retener el reflujo de agua desde el receptor (válvula de retención), permitir la toma de muestras de agua para su análisis (grifo), etc. Un elemento importante es el accesorio de desconexión rápida el cual puede ser una brida o plato atornillado, unión doble cónica o plana, adaptador de amplia tolerancia, etc.. El mismo debe ir conectado inmediatamente a la salida de la tubería de descarga o aducción, cuando la misma emerge del nivel del tubo de camisa o ademe. De esta manera se podrá desconectar de la tubería de conducción posterior y mantener las válvulas de control en su posición evitando el reflujo de agua desde el receptor.
Asimismo forman parte de la boca del pozo las obras de protección de los elementos antes mencionados, tales como coberturas removibles, cámaras o arquetas de mampostería u hormigón, etc.. Estas últimas llevarán en su parte superior tapas de acceso que faciliten la inspección y los trabajos futuros que deban ejecutarse sobre el pozo. Las cámaras o arquetas bajo nivel de suelo natural deben ser cuidadosamente construidas para evitar que ingrese el agua de lluvia, líquidos que puedan derramarse en cercanías de la boca de pozo, insectos, etc. Es frecuente hallar estas obras bajo nivel anegadas en cuyo caso los líquidos pueden entrar desde la superficie y contaminar severamente al agua que entrega la captación.
Es preferible mantener el extremo superior del tubo de camisa o ademe por encima del nivel de terreno o mejor aún de inundación del sitio de implantación en cuyo caso deberá apelarse, si se desea cubrir la boca de pozo, a una casilla o mejor a una cubierta desmontable que permite despejar el área de acceso al pozo para las tareas de mantenimiento o reparación.
Debe tenerse en cuenta además que para diámetros de descarga de 0,102m (4”) o superior se preferirá en general colocar accesorios con acoplamiento mediante bridas y se adicionará a los accesorios descriptos una válvula de aire directamente en el cabezal del pozo o inmediatamente después de la curva de 90° ubicada en el mismo.
En ocasiones y dependiendo del tipo de receptores del agua bombeada, se incluirá también una válvula de alivio, regulada de tal manera que alcanzada una presión determinada se abre permitiendo el escape del agua y evitando deterioros en la instalación posterior o en la propia bomba ya que tratándose de una electrobomba sumergible el funcionamiento durante un período de descarga con muy poco o nulo caudal puede provocar daños en el motor eléctrico (por falta de refrigeración) we incluso en la misma bomba cuando ésta posee rotores de materiales termoplásticos.

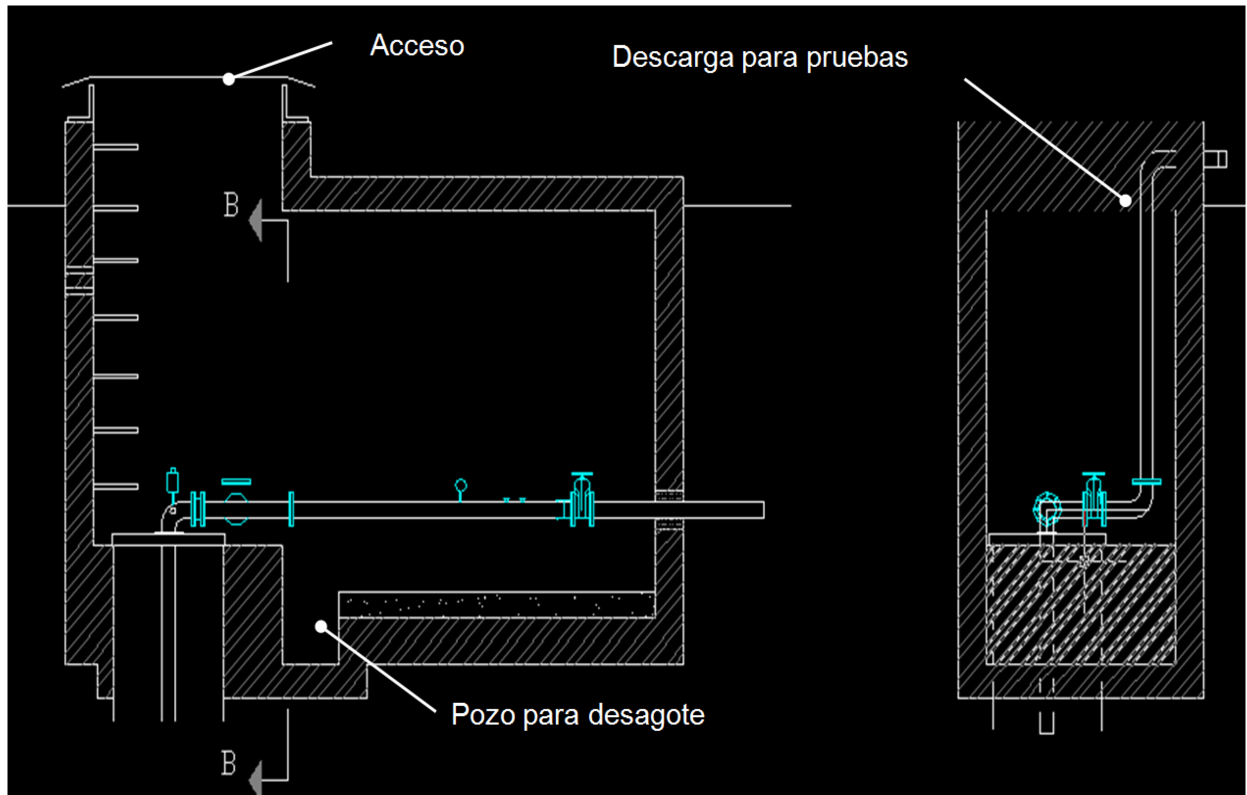
OBRAS COMPLEMENTARIAS

En general al construir una captación deberán preverse también las obras de abastecimiento de energía, los sistemas de comando y protección de los motores eléctricos que en general convendrá ubicar en tableros o paneles próximos a la boca de pozo, el eventual cercado de las instalaciones y la señalización del tipo de instalación que se trata.

Un párrafo aparte merecen las obras de impulsión de agua desde la boca de pozo hasta el receptor al cual va destinada el agua bombeada. Las mismas estarán en general constituidas por tuberías bajo nivel de suelo o en ocasiones sustentadas sobre soportes, instalación frecuente en la industria. En caso de ser metálicas deberá evitarse la propagación de descargas eléctricas de cualquier tipo hacia el equipo de bombeo y en general evitar la continuidad eléctrica mediante un accesorio que posea aislación eléctrica. Este cuidado no será necesario en el caso de la utilización de tuberías plásticas para conducir el agua. Asimismo estas tuberías no deberán ejercer empujes o solicitaciones sobre los accesorios de la boca de pozo. Los mismos pueden causar desalineaciones en la columna de suspensión de la bomba, roturas en los cabezales de las mismas o en los accesorios tales como las válvulas. Resulta importante que dicha impulsión se calcule o verifique hidráulicamente a fin de establecer las pérdidas de carga que deberán sumarse a las alturas geométricas de elevación y a la presión requerida por parte del receptor del agua bombeada.



Las instalaciones de la fotografía corresponden a una captación de agua subterránea efectuada en la vía pública y capaz de bombear unos 60 m3/hora directamente en la red de distribución de agua alrededor del área de implantación.
De izquierda a derecha se observan: la cámara subterránea que alberga la boca de pozo (con 2 tapas), el gabinete de alojamiento de la bomba dosificadora de cloro, el pilar de toma aérea de energía eléctrica y el alojamiento del tablero eléctrico. Puede apreciarse el poco espacio necesario y la sencillez de las instalaciones.

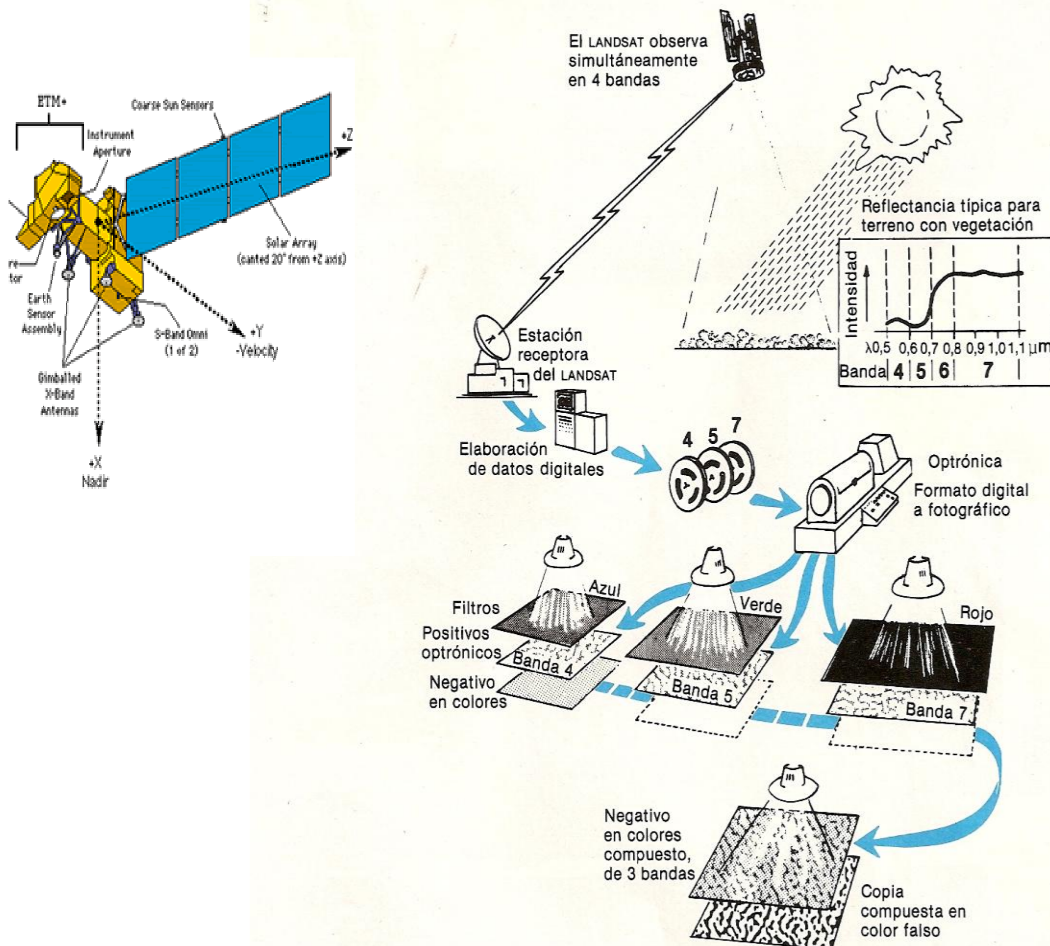


Cámara de boca de pozo bajo nivel de terreno

Ejemplo de una cámara de boca de pozo ubicada bajo nivel de suelo o terreno natural. Si bien no es aconsejable que el extremo del tubo de camisa, revestimiento o ademe quede bajo el nivel de terreno por las razones arriba señaladas, en ocasiones resulta imprescindible hacerlo así por razones de falta de espacio disponible en la superficie, seguridad contra vandalismo, etc.

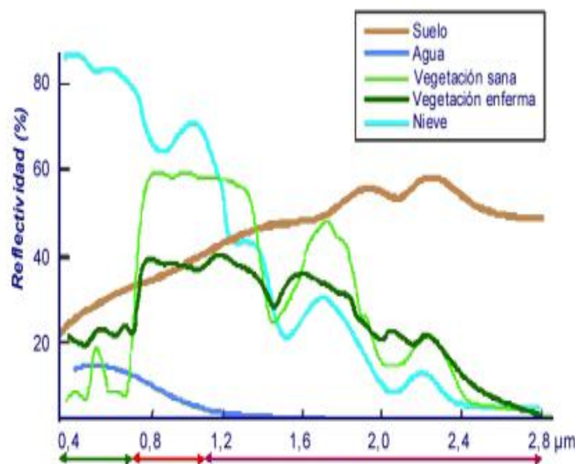
3.7 Exploración de aguas subterráneas

Exploración satelital Programa Landsat 1972 - 2010



3.7 Exploración de aguas subterráneas
Exploración satelital

- Los materiales de la Tierra reflejan y/o emiten energía electromagnética. El satélite se equipa con sensores que miden la intensidad de la radiación electromagnética emitida por un objeto (reflectancia o reflectividad) y estudian sus propiedades físicas a partir de la variación de la reflectancia con la frecuencia de la onda analizada.
- La porción visible del espectro se extiende de 0.4 mm hasta 0.7 mm que junto con la banda infrarroja es la región con mayor presencia de sensores.
- La teledetección se basa en la interacción del espectro electromagnético y la cubierta terrestre. Cuando realizamos un gráfico en el que representamos la cantidad la radiación reflejada por una superficie y la relacionamos con la longitud de onda de la onda electro -magnética, obtenemos lo que se denomina *firma espectral.*



143

3.7 Reservas de agua subterránea: Recarga anual



Agua subterránea

- **Recarga de agua subterránea superior (> 150 mm/a)**
- **Recarga de agua subterránea intermedia (15 – 150 mm/a)**
- **Recarga de agua subterránea inferior (< 15 mm/a)**
- **Área con estructura hidrogeológica compleja**
- **Área con acuíferos locales y de poca profundidad**

Fuente 144

UNESCO (http://typo38.unesco.org/en/about-ihp/ihp-partners/mapping.html)

La recarga de agua producida por las precipitaciones guarda una estrecha relación con las reservas de agua subterránea comprobadas. De allí la importancia del registro de lluvia y nieve que, combinados con el conocimiento de las características del suelo y subsuelo, permiten estimar las reservas de agua que contienen los diferentes acuíferos.

3.7 Exploración de aguas subterráneas

PERFILAJES

Empleando la medición de magnitudes propias como la resistencia eléctrica específica, potencial eléctrico propio (denominado potencial espontáneo), intensidad de la radiación radiactiva y otras, pueden determinarse algunas características del subsuelo y su contenido de agua.

Los tipos de perfilajes mas empleados son:

- Medición de la resistencia eléctrica especifica (resistividad)
- Medición de los potenciales eléctricos espontáneos
- Medición de la intensidad de los rayos gamma naturales
- Lateroperfil
- Diámetros del pozo (Caliper)

Perfilajes eléctricos empleados en la captación de aguas subterráneas

El perfilaje geofísico se ha utilizado con gran éxito en la industria a del petróleo desde hace muchos años y paulatinamente en la de extracción de agua. Empleando la medición de magnitudes propias como la resistencia eléctrica específica, potencial eléctrico propio (denominado potencial espontáneo), intensidad de la radiación radiactiva y otras, pueden determinarse algunas características del subsuelo y su contenido de agua.

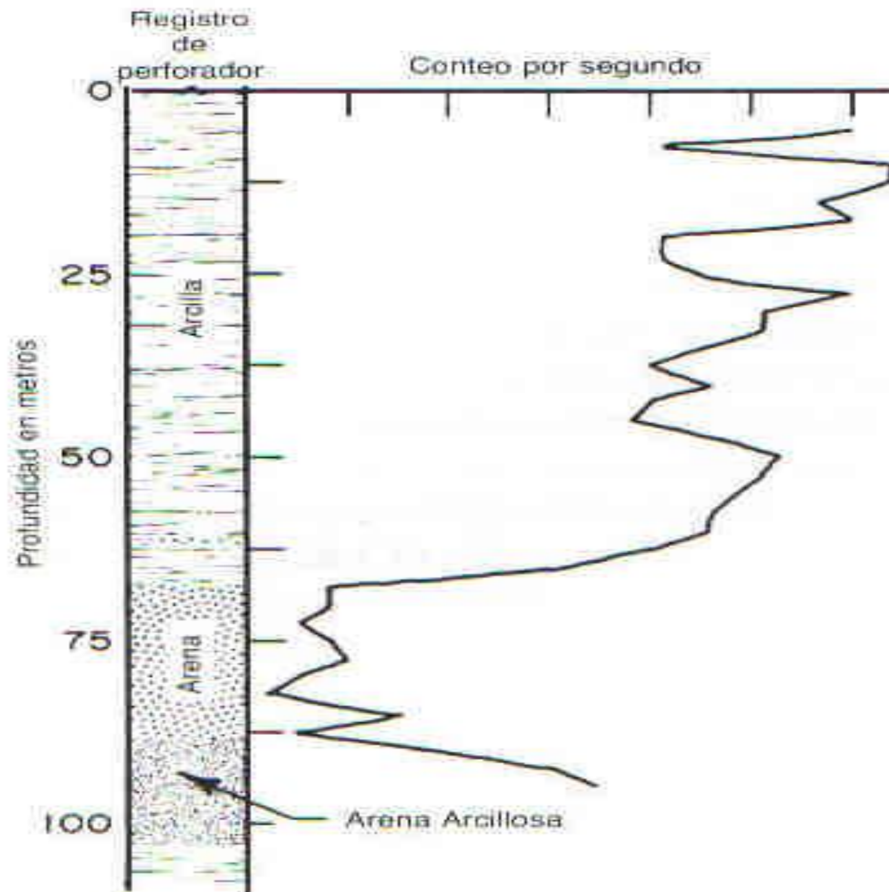
Para medir los parámetros se emplean sondas que se bajan en los pozos y envían señales a los equipos ubicados en la superficie. Allí son interpretados cualitativa o comparativamente y registrados de modo continuo.

De esta manera se puede conocer a menudo en tiempo real la existencia de agua, la porosidad del estrato acuífero, etc. El uso de diferentes métodos simultáneamente mejora la certeza de las determinaciones.

Los tipos de perfilajes mas empleados son:

- Medición de la resistencia eléctrica especifica (resistividad)

Registro de rayos gamma y perfil litológico



Tomada de El Agua Subterránea y Los Pozos – Johnson Inc.

- Medición de los potenciales eléctricos espontáneos
- Medición de la intensidad de los rayos gamma naturales
- Lateroperfil
- Diámetros del pozo (Caliper)

Ensayo de Resistividad: mide los efectos originados por una corriente eléctrica, determinando las transiciones entre distintos tipos de formaciones (ej.: arcilla – arena). Sus resultados son influidos por el lodo de perforación.

Registro de potencial espontáneo: la curva obtenida (SP) es un registro de las diferencias de potencial que se obtienen naturalmente entre un electrodo ubicado en la superficie

del terreno y otro colocado dentro del lodo conductor a medida que este último electrodo recorre el pozo.

Las diferencias de potencial positivas se miden de izquierda a derecha. Las arcillas establecen una línea a la derecha del diagrama y las deflexiones negativas (hacia la izquierda), indican en general capas permeables como las de arena. La magnitud de la deflexión no es proporcional a la porosidad o a la permeabilidad.

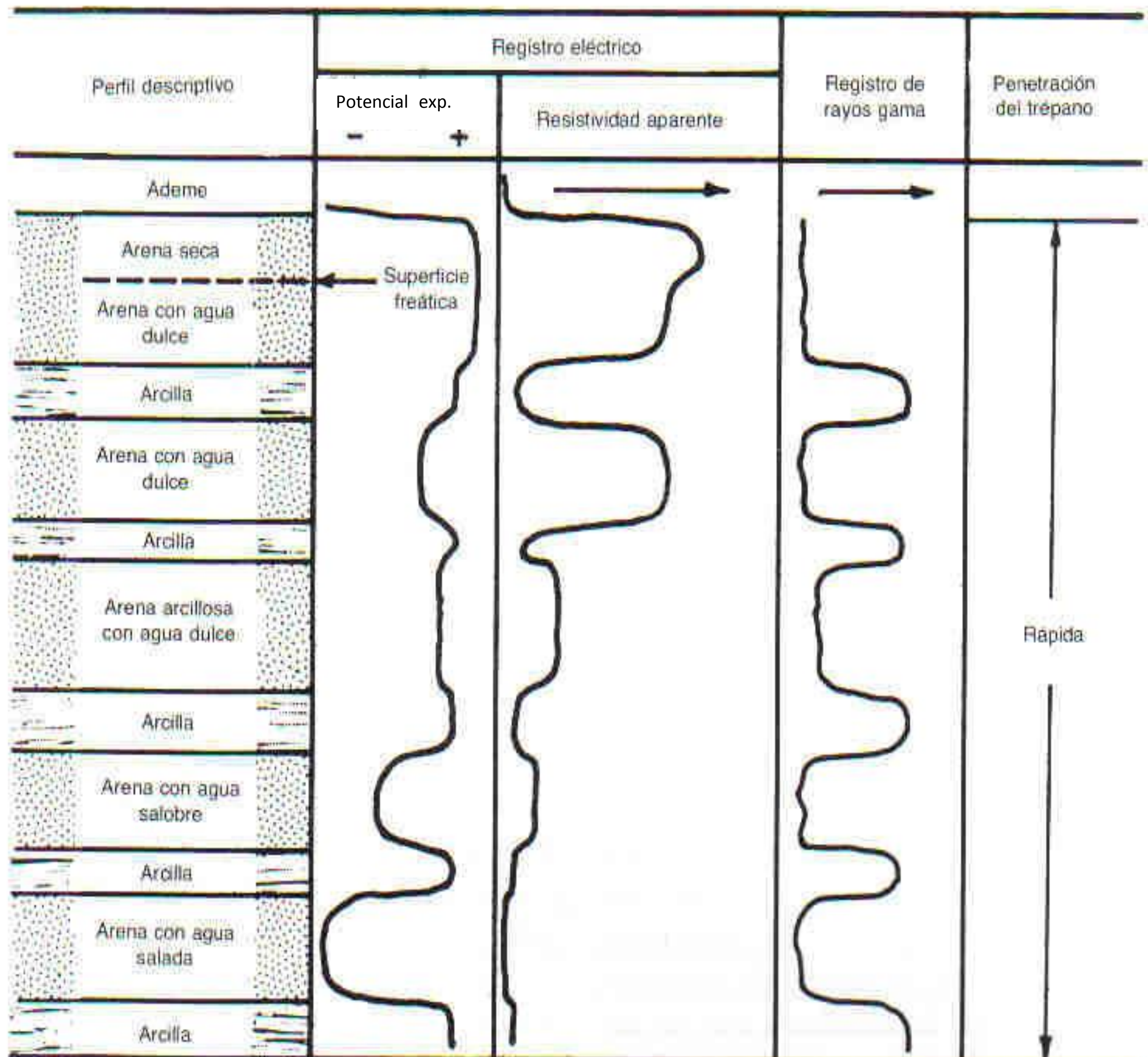
Registro de gamma natural: este tipo de radiación tiene su origen en la desintegración radiactiva de isótopos de elementos estables pertenecientes a la familia del Uranio y del Thorio y del isótopo inestable del Potasio 40. Su alcance se limita a una distancia radial de entre 15 y 30 cm, pero tiene la ventaja de atravesar el entubado del pozo y su curva se puede relacionar fácilmente con las de resistividad y de potencial espontáneo.

Los elementos radiactivos se presentan más concentrados en las arcillas mientras que las arenas tienen un nivel de radiactividad menor.

Registro de lateroperfil: presenta un gran poder de resolución, especialmente importante cuando el lodo de perforación es muy conductivo. Este tipo de registro mejora apreciablemente la determinación de la resistividad y permite una mejor definición de la transición entre capas delgadas.

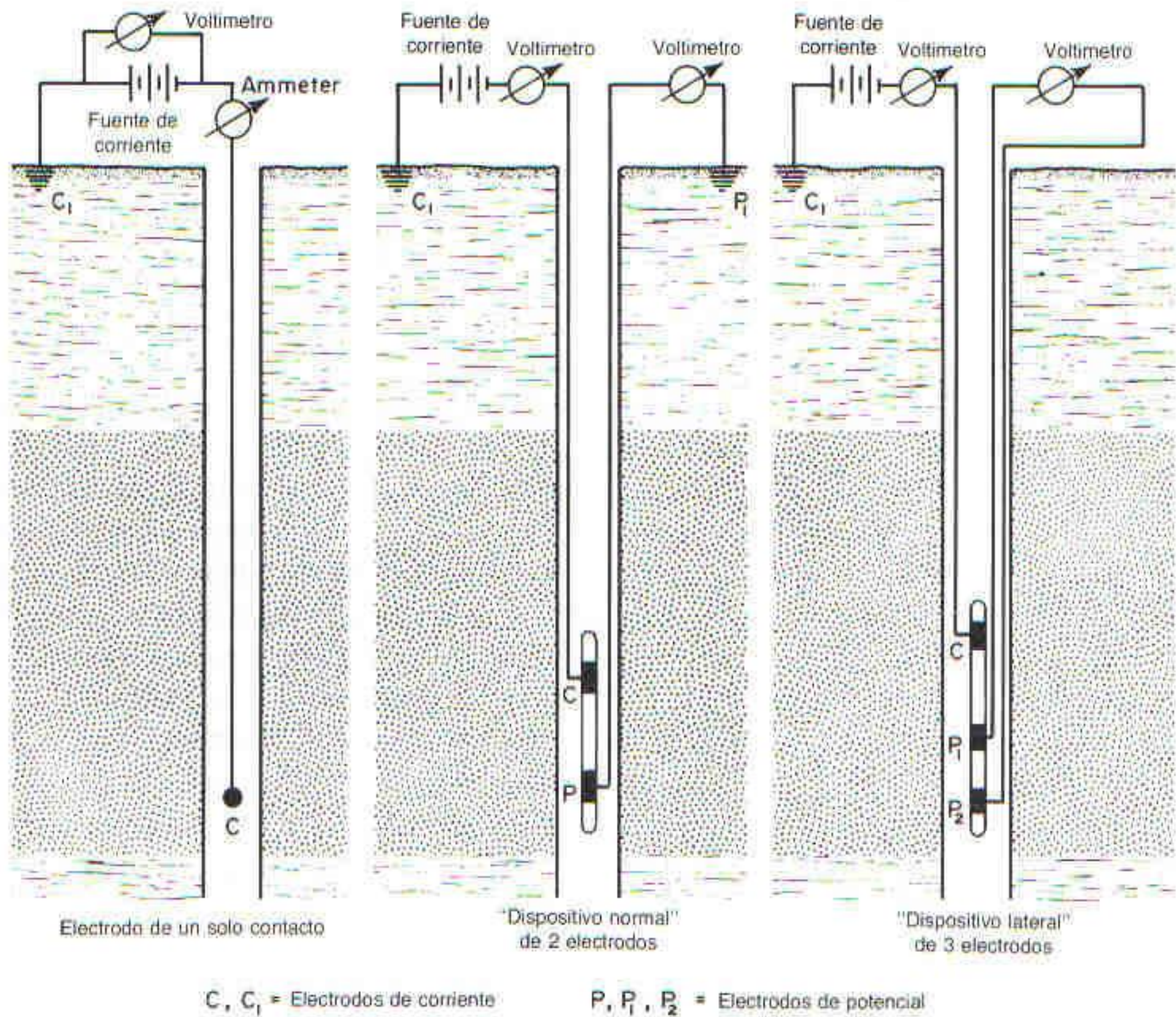
Caliper: sirve para determinar el diámetro del pozo cuando, durante la construcción se producen desmoronamientos, socavaciones (en estratos desmenuzables) o bien existen fisuras en estratos consolidados. En especial perite definir bien los materiales necesarios para construir el empaque de grava o el cementado de tuberías o para el cegado de pozos en desuso.

Registros comparados de potencial espontáneo, resistividad aparente y de rayos gamma con perfil litológico



Tomada de El Agua Subterránea y Los Pozos – Johnson Inc.

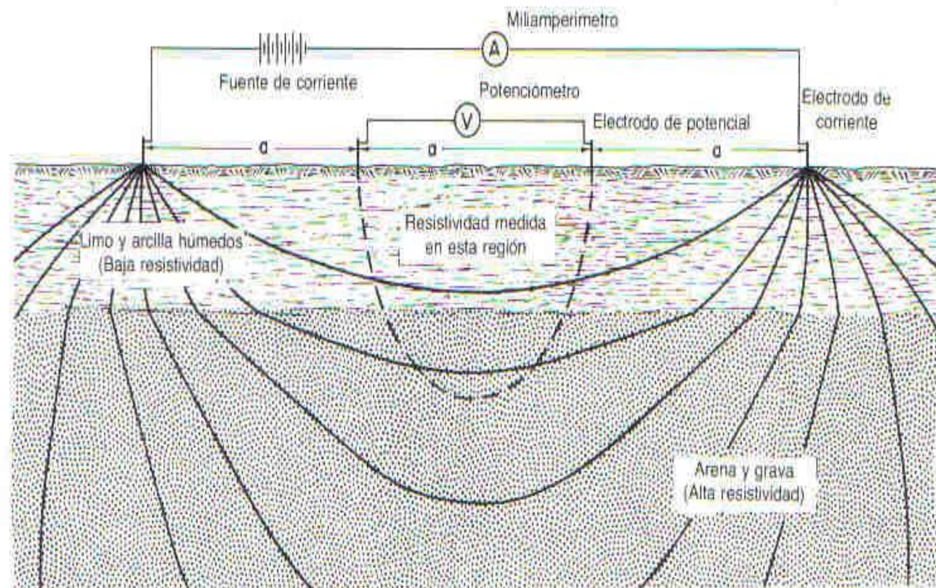
Procedimientos de medición de Resistividad Aparente



Tomada de El Agua Subterránea y Los Pozos – Johnson Inc.

Exploración de aguas subterráneas

Geofísica de superficie – Resistividad Eléctrica

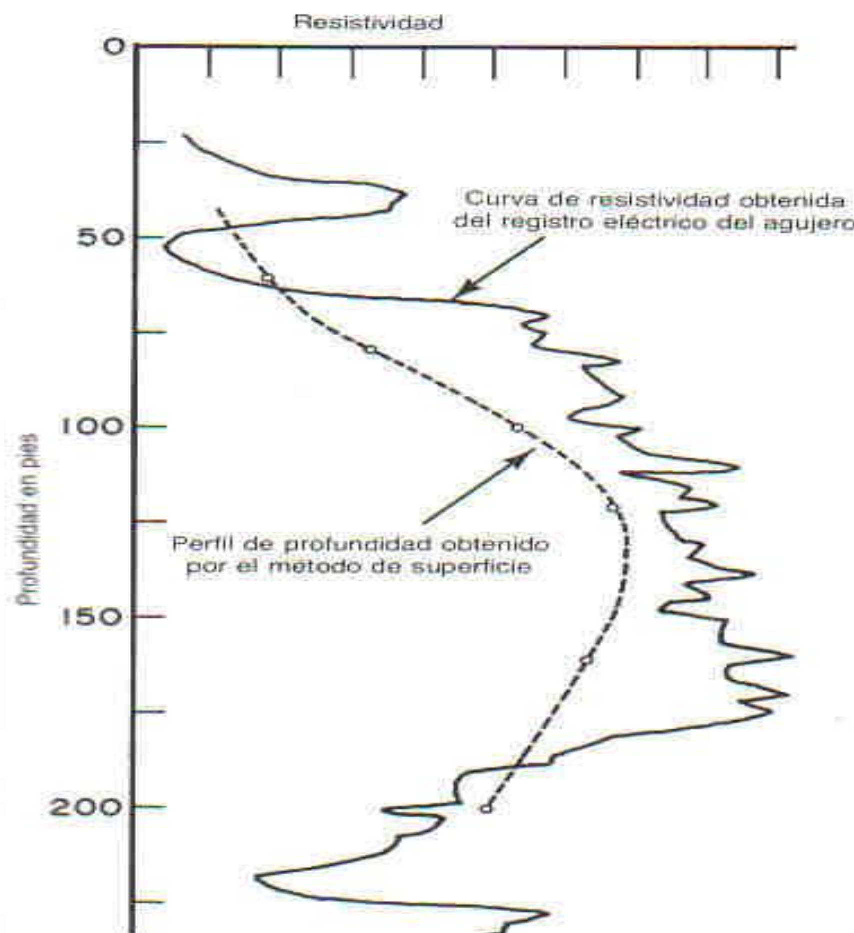


Esquema de Wenner

Tomada de El Agua Subterránea y Los Pozos – Johnson Inc.

Tomada de El Agua Subterránea y Los Pozos – Johnson Inc.

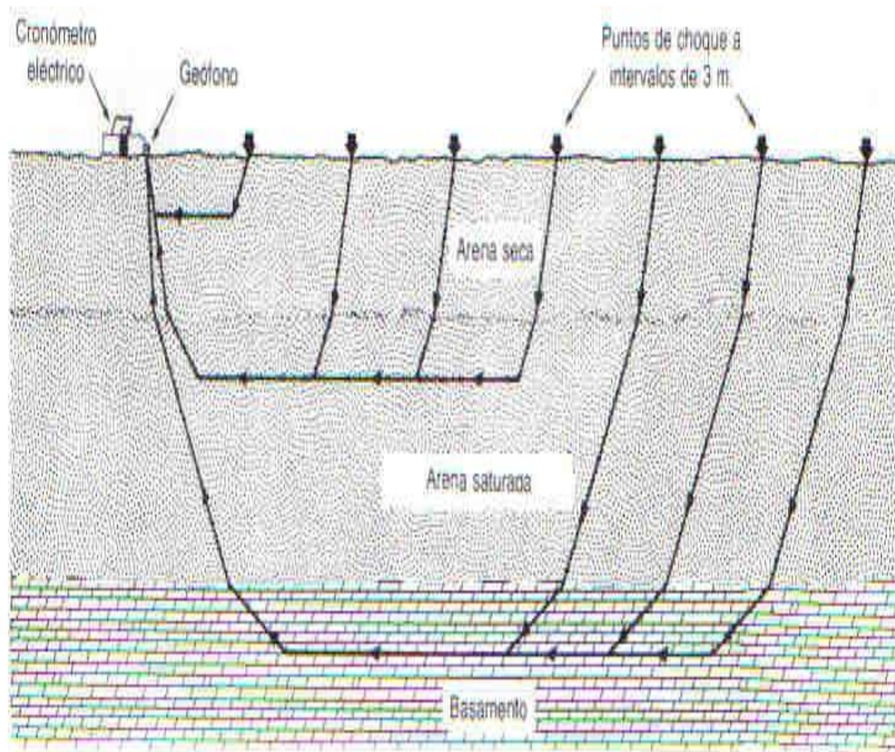
Comparación de resultados entre Geofísica de superficie y Perfilaje eléctrico



Tomada de El Agua Subterránea y Los Pozos – Johnson Inc.

Exploración de aguas subterráneas

Reconocimiento por refracción sísmica



Tomada de El Agua Subterránea y Los Pozos – Johnson Inc.

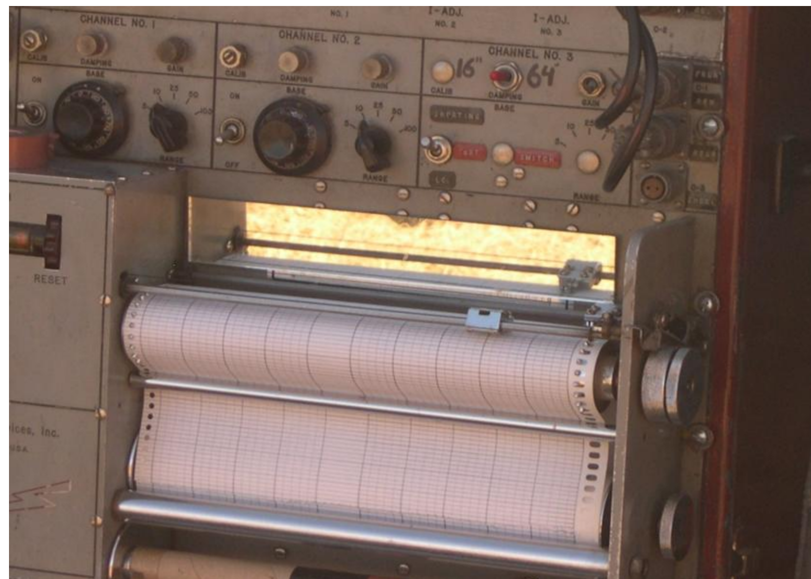
Exploración de aguas subterráneas

PERFILAJES - Sonda



Exploración de aguas subterráneas

PERFILAJES – Perfilador con indicador de diagrama



Exploración de aguas subterráneas

PERFILAJES – Carrete del cable de suspensión de la sonda



113

Exploración de aguas subterráneas

PERFILAJES



114

Exploración de aguas subterráneas

PERFILAJES – Impresión del diagrama

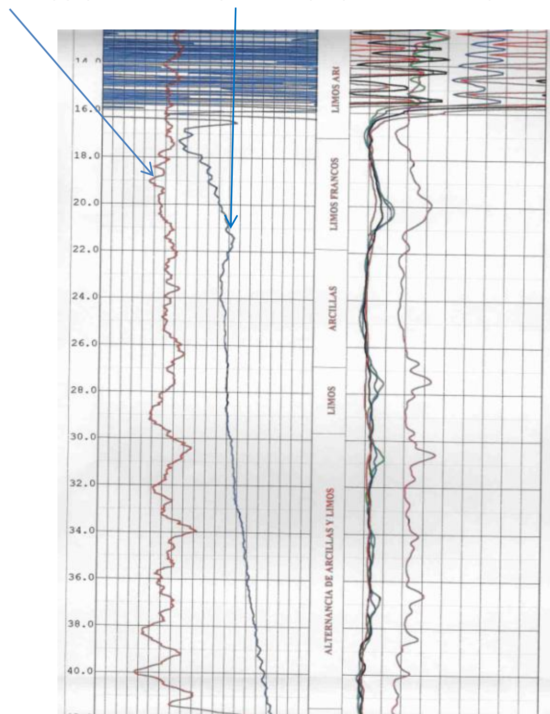


115

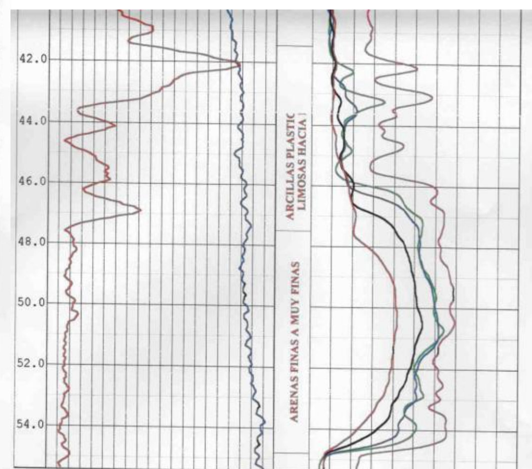
Exploración de aguas subterráneas

PERFILAJES – Diagramas

Rayos Gamma (cps) Potencial expontáneo(mV) Resistividad (ohm.m)



Resistividad (ohm.m)



116

3.7 EXPLORACION DE AGUAS SUBTERRANEAS

Programa de Exploración Tipo

1. **Recopilación y evaluación de antecedentes.**
2. **Relevamiento Hidrogeológico.**
3. **Análisis Hidrogeológico e Hidroquímico.**
4. **Exploración del subsuelo.**

EJEMPLO DE UN PROGRAMA DE EVALUACION DE LOS ACUIFEROS DE UNA REGION

1.Recopilación y evaluación de antecedentes de:

1.1Cartografía.

1.2Información disponible sobre aspectos hidrogeológicos y de ingeniería sanitaria.

1.3Fotografías aéreas e imágenes satelitales.

1.4Información censal demográfica.

1.5Información censal económica industrial.

1.6Infraestructura urbana (obras hidráulicas, caminos, etc.).

2. Relevamiento Hidrogeológico

2.1Estudio fotogeológico, determinación de la red de drenaje (natural y artificial).

2.2Inventario hidrogeológico (censo de pozos con mediciones in situ y georreferenciación).

2.3Identificación de captaciones principales (industriales, abastecimiento público, etc.).

2.4Relevamiento geológico – geomorfológico (rasgos geológicos de superficie).

2.5Caracterización de suelos por su permeabilidad y aptitud hídrica.

2.6Selección de análisis de agua representativos o extracción y análisis de nuevas muestras de agua.

3. Análisis Hidrogeológico e Hidroquímico

3.2Mapa de curvas piezométricas / freatimétricas.

3.3Aplicación de modelos matemáticos para simulación de flujo.

3.4Definición de las condiciones de flujo en el sistema acuífero.

3.5Definición de las condiciones de borde en el sistema acuífero.

3.6Tablas con los resultados analíticos de las muestras de agua.

3.7Mapas de isosalinidad (conductividad o residuo seco).

3.8Graficación de los resultados químicos.

3.9Mapas hidrogeoquímicos (distribución de contenido iónico).

3.10Mapa de anomalías en los contenidos químicos.

3.11Identificación de zonas con probables contaminaciones.

4. Exploración del subsuelo

4.1Definición de la traza de perfiles geoeléctricos.

4.2Mediciones de campo e interpretación de resultados.

4.3Determinación de los puntos a perforar.

4.4Metodología de sondeos de investigación(perforaciones con muestreo y perfilaje geofísico)..

4.5Selección de pozos para ensayos de recuperación (proc. Según Theis).

4.6Diseño tipo de la captación de producción.

4.7Diseño de la batería de pozos.

4.8Modalidad de explotación de la captación proyectada al caudal de diseño.

4.9Modalidad de explotación de la batería de pozos y proyección de explotación continua.

PARTE IV

4.1 Preservación y mantenimiento de pozos

- **Pozo que funciona bien “no lo toque”**
- **Control de la calidad del agua**
- **Control del funcionamiento de la electrobomba**

Si una perforación funciona adecuadamente y sin problemas no es conveniente modificar el caudal que se extrae ni, en lo posible, efectuar tareas que pongan en riesgo su integridad. Este es el caso típico de pozos que funcionando bien son sometidos a tareas de mantenimiento preventivo (del pozo no de la bomba estamos hablando) y por ejemplo se decide realizar tareas de comprobación de un cierre anular o intentar eliminar la incrustación que eventualmente pueda tener el filtro o rejilla.

El riesgo que se corre en estos casos es el de siempre al trabajar en un pozo: la posibilidad de un error o de un accidente que provoque por ejemplo la caída de algún objeto, tal como una herramienta o parte de las tuberías de maniobra que se empleen y surgen entonces complicaciones imprevistas que son relativamente frecuentes en tareas en donde, como en este caso, se trabaja prácticamente a ciegas y muchas veces causan daños irreversibles en el pozo.

En cuanto a incrementar el caudal es algo que debe sopesarse cuidadosamente. Ocurre que el pozo posee una especie de adaptación al caudal dada por las velocidades de circulación del agua y los esfuerzos mecánicos que ésta última provoca especialmente en los arranques y paradas de bomba. El pozo puede ser

sacado de régimen y comenzar a arrastrar arena en el agua bombeada, se desacomoda la grava del prefiltro, se provoca una depresión mayor, etc.

El mantenimiento que conviene hacer se debe organizar entonces a partir de la observación y el registro de algunos parámetros significativos. En el caso de pozos destinados al abastecimiento de agua potable deben realizarse análisis bacteriológicos con una frecuencia que puede ir, no existiendo ninguna razón para sospechar de la calidad del agua, desde un análisis cada 180 días en pozos domiciliarios hasta 1 análisis diario en pozos que surten por bombeo directo a una red de distribución pública para 25.000 habitantes o más.

No deben mantenerse en servicio pozos que superen el máximo de bacterias tolerado por las normas de potabilidad aplicables, pretendiendo asegurar la calidad mediante una desinfección permanente por ejemplo con cloro. Una contaminación bacteriana, incluso por bacterias que aparezcan abatidas luego de la desinfección, puede enmascarar otro tipo de agresiones por agentes tales como los virus.

Se debe sacar de servicio al pozo que entrega agua contaminada, determinar las causas del problema y resolverlo si es posible o dar de baja el pozo en caso contrario. En general un pozo dará agua contaminada bacteriológicamente después de alguna intervención en el mismo o por ingreso de agua desde la superficie a través de la boca de pozo, sin embargo y sin que se den ninguna de las causas anteriores, sucede en ocasiones que las bacterias aerobias se multiplican en el interior del pozo, particularmente en la rejilla o filtro lo que da lugar a conteos de colonias en el agua bombeada que superan los valores admitidos.

En todos los casos habrá que desinfectar el pozo siguiendo el procedimiento que antes se explicó. No resulta conveniente la práctica de la desinfección permanente o muy frecuente. Cada desinfección produce corrosión y la reiteración muy frecuente reducirá la vida útil de la captación.

En el caso de la distribución de agua potable desde pozos, debe observarse siempre la respuesta del consumidor y sus opiniones. Un consumidor desconfiado de la calidad acudirá a fuentes alternativas que pueden ser de peor calidad o no tener control alguno. Además el hervido del agua de red por parte de un usuario que sospecha de la calidad del agua que recibe, concentrará su contenido de sales y en algunas casos hará que se excedan los máximos admitidos, cuando el agua podría emplearse para la bebida en forma directa.

Fuera del control de la calidad bacteriológica del agua interesará a los efectos de control del pozo y del acuífero, cualquiera sea el uso a que se destine el agua, la determinación y el registro de una serie de parámetros físico químicos, tales como el contenido de sólidos totales, la dureza, el tenor de cloruros y nitratos, etc. de forma tal de poder observar a través de sus cambios la evolución del pozo y de la calidad de agua en general.

Por ejemplo los cambios rápidos probablemente obedezcan a alteraciones de la captación en sí mientras que las modificaciones lentas pero sostenidas que pueden marcar una tendencia, se relacionaron con mayor probabilidad con los cambios sufridos por el agua del acuífero en su conjunto.
Así un súbito incremento de cloruros y la presencia de nitritos con nitratos en aumento, puede estar señalando que se ha abierto una comunicación directa con una capa de agua que ha estado en contacto más o menos reciente con efluentes cloacales.

Pero un incremento gradual de la dureza o de los nitratos a lo largo de los años estará sin duda señalando un problema en el acuífero que habrá que confirmar con determinaciones similares de otros pozos que en el área exploten el mismo acuífero.

Estas conclusiones sin embargo deben ser analizadas en el contexto físico del pozo. Una forma de cuidar un pozo es observar frecuentemente su entorno y si hay cambios en el mismo, analizar de qué manera puede esa modificación impactar en la captación.

La instalación de un gran consumidor de agua subterránea en zona próxima, el vertido de contaminantes sobre el suelo y con más razón en el subsuelo, un relleno sanitario o vertedero de residuos domiciliarios o industriales mal gestionado, etc. son ejemplos de cómo el medio inmediato puede alterar la calidad y en ocasiones también la cantidad del agua de nuestro pozo.

Otro aspecto a considerar es el cuidado de la boca del pozo. Hay que evitar el ingreso de agua desde la superficie y naturalmente de cualquier objeto o sustancia. No debe permitirse el empleo del pozo, incluso del espacio exterior al ademe o camisa, para verter líquidos de cualquier especie. Tampoco la conexión de descargas a tierra o pararrayos según se explicara antes.

En un pozo cuya descarga de agua esté conectada a una tubería o a un receptor cerrado, es por cierto conveniente la observación periódica, por ejemplo cada 6 meses, de la descarga a la vista con un caudal similar al de explotación habitual del pozo. En efecto fuera de que exista un grifo para la toma de muestra de agua con destino a los análisis, la descarga a chorro pleno y a la vista, permitirá observar problemas de turbiedad y arrastre de arena que pueden no manifestarse en otra circunstancia. Además en esa condición y si se aplica un caudalímetro, puede para un caudal determinado, medirse el nivel dinámico de bombeo que quedará definido normalmente dentro de unas pocas horas de iniciado el bombeo con la suficiente aproximación como para verificar que la profundidad de instalación del cuerpo de la bomba sea la adecuada.

Un párrafo aparte merecer el control eléctrico y mecánico de la bomba. En este caso por ejemplo es necesario contar con un amperímetro que permita medir la intensidad eléctrica absorbida por cada fase. La intensidad (Amperes), deberá

tener un valor estable y muy parecido en todas las fases, además su valor no deberá superar al nominal informado por el fabricante de la bomba o del motor.

Un valor de intensidad por encima del nominal o bien al que se registró al comienzo de la puesta en marcha de la instalación (en el caso de éste sea sensiblemente menor que el nominal) puede estar indicando una sobrecarga que en una instalación que ha funcionado bien en el pasado sólo puede deberse a desgaste mecánico.

Cabe aclarar aquí que estamos hablando de la bomba centrífuga la que aún variando la altura manométrica por estrangulamiento de la descarga, no absorberá más intensidad eléctrica sino por el contrario ésta tenderá a disminuir en esa circunstancia. Sólo podría aumentar la intensidad eléctrica si se incrementara el caudal por disminución de la altura manométrica. Condición esta última que se daría si hay un ascenso marcado del nivel dinámico (improbable) o bien descarga a pleno caudal a nivel de piso cuando antes lo hacía a una altura geométrica significativa o con una contrapresión determinada. Aún en estos casos no se deberían medir intensidades eléctricas mayores que la nominal si la electrobomba está bien diseñada.

El desgaste mecánico se deberá en general a problemas en los bujes o cojinetes de la máquina y es perceptible prestando atención a las vibraciones y ruidos que produce la misma, las vibraciones suelen percibirse en la tubería de descarga e incluso en la zona de suelo inmediatamente cercana al pozo. Existen en el mercado aparatos especiales, empleados en el mantenimiento sistemático de máquinas, destinados a medir estos parámetros y definir el estado de un rodamiento o de un buje.

Una circunstancia frecuente de observar en bombas de pozos, es que la intensidad eléctrica absorbida fluctúa aumentando y disminuyendo con intervalos más o menos regulares. En general esto puede estar significando que la electrobomba disminuye su caudal o directamente deja de bombear por momentos, producto del descenso del nivel dinámico por debajo de o muy próximo a, la entrada de agua al cuerpo de bomba. Como al cesar el bombeo el nivel tiende a recuperarse sube de nuevo la intensidad. Debe observarse la descarga libre de agua para corroborar si está sucediendo este problema, en ocasiones la declinación del chorro de descarga es poco notoria y debe verificarse si hay presencia de aire mezclado con el agua.

Esta situación puede deberse a un descenso del nivel dinámico en el pozo por defectos de la criba, rejilla o filtro, o bien a un descenso generalizado del nivel estático del acuífero o napa en el área. La solución inmediata puede ser reducir el caudal de descarga mediante el estrangulamiento de la descarga, para posteriormente hacer descender más el cuerpo de bomba dentro del pozo. A largo plazo habrá que observar la tendencia y si es posible verificar con otros pozos cercanos si se produce el mismo fenómeno.

AGUAS SUBTERRANEAS

Corrosión en pozos

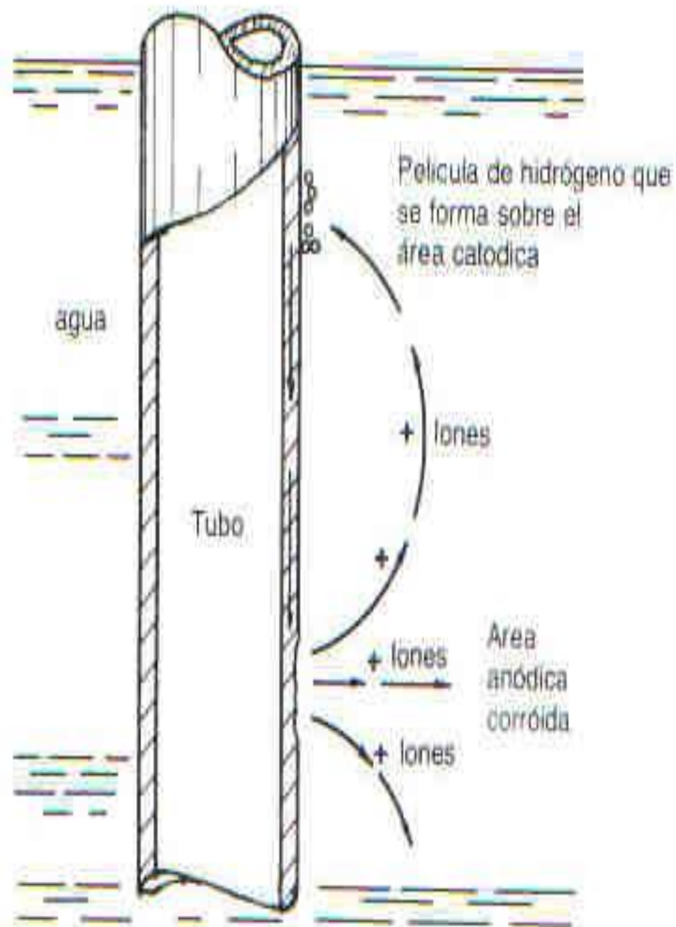
- Importancia de los materiales
- Mezcla de materiales diferentes
- Calidad del agua
- Instalaciones próximas (v.g. transformadores o puestas a tierra de instalaciones eléctricas importantes, pararrayos, industrias químicas, etc.)

5

- Corrosión electroquímica:

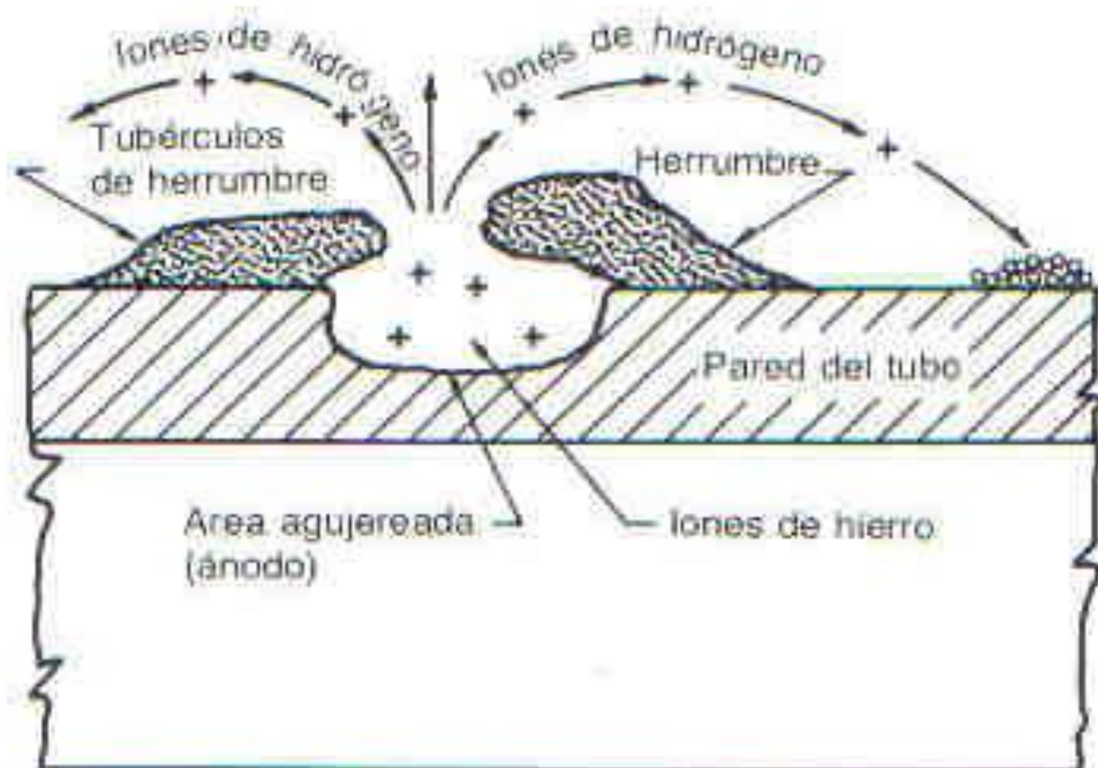
Es la forma más común de corrosión de metales, éste se oxida en contacto con un líquido que posea sustancias ionizadas disueltas que lo hacen capaz de conducir cargas eléctricas (electrolito) y que tenga presencia de oxígeno u otro agente oxidante.

Fe Fe^{++} + 2e si el Fe se desplaza hacia una zona catódica (preexistente) en donde los iones Fe^{++} son consumidos, el metal de la zona original se torna (-) y se convierte en un Ánodo.



PROCESO DE CORROSION FRECUENTE EN LOS TUBOS METALICOS DE POZOS

Tomada de El Agua Subterránea y Los Pozos – Johnson Inc.



Tomada de El Agua Subterránea y Los Pozos – Johnson Inc.

VISTA AMPLIADA DEL AREA QUE SE COMPORTA COMO ANODO

Cuando se emplean dos metales distintos en contacto con el agua o el suelo húmedo o incluso en el caso de la superficie de un mismo metal en donde exista falta de homogeneidad, ocurrirá la corrosión galvánica haciendo que el área del metal que actúa como ánodo sea atacada, perdiendo material que se convierte en óxido el cuál se deposita en forma de concreciones o tubérculos característicos.

En ningún caso deberá utilizarse a la tubería de ademe o camisa como puesta a tierra de una instalación eléctrica. Los daños causados por las corrientes parásitas se manifiestan en forma de picaduras intensas y muy localizadas, que son motivo de perforaciones en el tubo metálico. Asimismo las bombas resultan afectadas en sus partes rotatorias adonde se manifiesta la erosión provocada por el recorrido de corrientes vagabundas.
Mucho menos recomendable resulta emplear los pozos de agua como puesta a tierra de sistemas de pararrayos en cuyo caso las descargas intensas provocan la destrucción de las bombas y en especial de los motores eléctricos.

En algunos casos el área corroída se pasiva por recubrimiento de una capa del mismo óxido, pero bastará cualquier cambio en las condiciones ambientales o alguna acción o esfuerzo mecánico para que se reactive el proceso de corrosión.

Serie Galvánica

Extremo corroído (Ánodo)	Magnesio (Mg)
	Aleaciones de Mg
	Zinc (Zn)
	Aluminio (Al)
	Cadmio (Cd)
	Acero, Hierro, Hierro Fundido
	Plomo, estaño
	Latón, Cobre
	Bronce – Aleac. Ni - Cu
	Níquel – Aleac.Ni – Cr
Extremo Protegido (Cátodo)	Acero inoxidable 18-8 (pasivado)

Tomada de El Agua Subterránea y Los Pozos – Johnson Inc.

4.2 Protección sanitaria de pozos

- Aislación vertical
- Aislación horizontal
- Boca de pozo
- Inspección periódica
- Análisis periódicos
- Observar el entorno: hay cambios?

AFECCIONES QUE PUEDEN TRANSMITIRSE POR EL AGUA SUBTERRANEA

Las afecciones son las mismas que pueden adquirirse cuando se ingesta agua de origen superficial y en este caso de clasifican por agente que causa la afección:

Originadas por bacterias	**Originadas por protozoos, helmintos, etc.**	**Originadas por virus**	**Envenenamiento por sustancias químicas**
Fiebre tifoidea	Parasitosis intestinales	Hepatitis	Por metales pesados (Cr, Pb, Hg, Co, etc.)
Cólera	Leptospirosis	Poliomelitis	Por compuestos industriales o sintéticos (biocidas, PCB(s), etc.)
Paratifoideas (salmonelosis)	Disentería Amibiana	Afecciones por rotavirus (Norwalk, etc.)	Por contaminantes minerales (As, F, NO3=, etc.)
Disenteria Bacilar (shighelosis)	Giardiasis		Por hidrocarburos (clorados, DDT, etc.)

4.3 Preservación del recurso

- Importancia de los estudios areales
- Explotación racional.
- Evitar descargas y contaminaciones.
- Mecanismos de contaminación.
- Necesidad de poseer servicios de disposición de excretas aceptables.
- Salinización
- Conos de depresión. Interferencias.

Descargas contaminantes en el subsuelo y en las aguas superficiales.

1. Situación sin servicios sanitarios:

Cuando no existen servicios sanitarios (red de recolección de efluentes domésticos y/o red de distribución de agua) , la contaminación de un acuífero confinado, como puede apreciarse en la figura, se da por tres mecanismos principales:

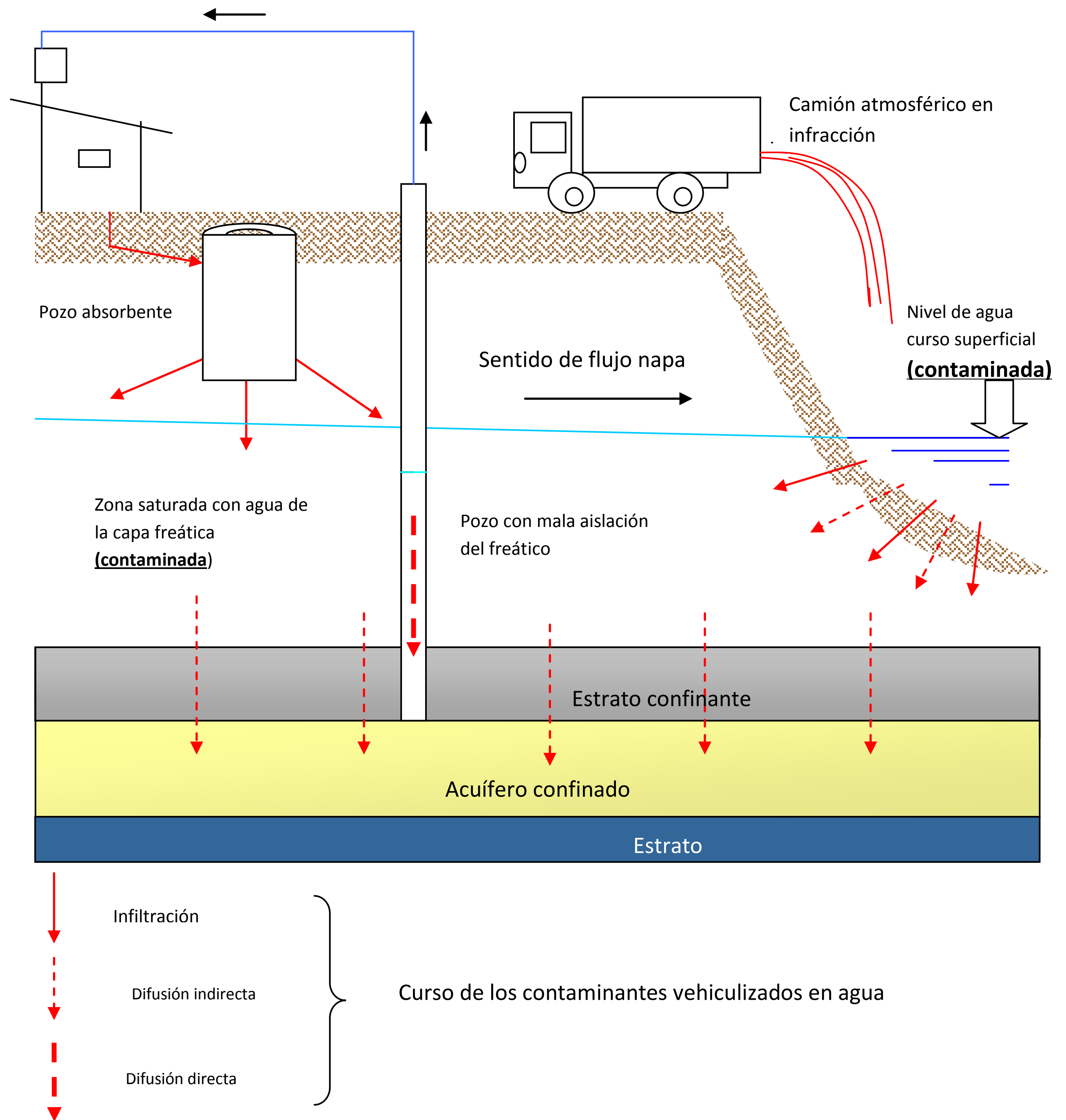
- Pozos absorbentes, negros o ciegos (con o sin cámara séptica).
- Intercambio de agua con cuerpos superficiales contaminados.
- Perforaciones para captación de agua mal construidas.

La falta de servicios de recolección de efluentes cloacales por red hace que se descarguen los mismos en pozos absorbentes (también llamados ciegos o negros) que por infiltración en el terreno contaminan la capa freática con líquidos cloacales.
La freática intercambia a su vez agua con los cuerpos superficiales (ríos y arroyos) que pueden estar contaminados por las descargas de efluentes

industriales y cloacales, descargas clandestinas en tanto y en cuanto no cumplen con las disposiciones obligatorias de tratamiento para depuración.
Desde la capa freática el agua percola hacia el acuífero confinado y si bien, existen en ese paso procesos que actúan en sentido de purificar el agua, la proliferación de descargas contaminantes y su concentración en áreas relativamente poco extensas, genera una presión sobre estos mecanismos naturales que ven superada su acción, terminando por infiltrarse los contaminantes y difundiéndose en el acuífero confinado. Por otra parte los estratos confinantes, no siempre poseen una distribución homogénea tanto en lo referente a su área de cobertura como a su espesor, de manera que pueden existir zonas adonde la “difusión indirecta” como hemos dado en llamarla, se verifica con mayor intensidad.
Por último existe un mecanismo que se ha venido ignorando en los estudios efectuados hasta el presente, que establece una conexión directa entre freática y estrato confinado, le asignamos una incidencia relevante. Se trata de las perforaciones que alcanzando las arenas del estrato confinado no están adecuadamente construidas o mantenidas y poseen fallas en la configuración de la aislación vertical. En estos casos, hay una “difusión directa” de agua del freático en el estrato confinado.
Es necesario entonces ejercer un férreo control sobre las formas constructivas y los materiales empleados. En especial estos pozos deben seguir los procedimientos recomendados para asegurar la aislación vertical entre capa freática y acuífero confinado, impidiendo el “cribado” de las arcillas aislantes que pone en contacto directo a ambas capas de agua con la consiguiente contaminación del acuífero confinado.

2. Situación con servicios sanitarios

Cuando se han establecido los servicios sanitarios, los mecanismos antes detallados no cesan de existir de manera inmediata y por el contrario continúan actuando durante un tiempo prolongado.
Los cuerpos superficiales permanecen contaminados si se siguen descargando en ellos efluentes sin depurar y la capa freática sigue contaminada, si bien puede esperarse que, al quedar fuera de servicio los pozos absorbentes y no construirse pozos de captación al acuífero confinado, que puedan tener una mala aislación vertical (que son los otros mecanismos de ingresos poluentes) su grado de contaminación vaya en disminución.
Es necesario tener en cuenta el largo tiempo para que esta reducción de la contaminación tenga lugar y ello siempre y cuando se eliminen efectivamente las fuentes contaminantes mencionadas.
Queda además en claro que si no se construye el servicio cloacal y sólo se extienden las redes de distribución de agua, el acuífero confinado se seguirá contaminando y que resulta necesario depurar las aguas superficiales porque sus impurezas inevitablemente llegarán a las aguas subterráneas. El medio ambiente pone en evidencia una vez más su indivisibilidad y lo que ocurre en la superficie afecta al ámbito subterráneo que a su vez repercute en la población asentada en el área.



MECANISMOS DE CONTAMINACION DE UN ACUIFERO CONFINADO

<u>Situación sin servicios sanitarios</u>

- Pozos absorbentes, negros o ciegos (con o sin cámara séptica).
- Intercambio de agua con cuerpos superficiales contaminados.
- Pozos para captación de agua mal construidos.

Vertidos de efluentes cloacales e industriales sin depurar (descargas clandestinas)

Líquidos cloacales colectados por red y descargados sin depurar

Cloro

Red cloacal

Cloaca máxima

Nivel de agua curso superficial **(contaminada)**

Sentido de flujo napa

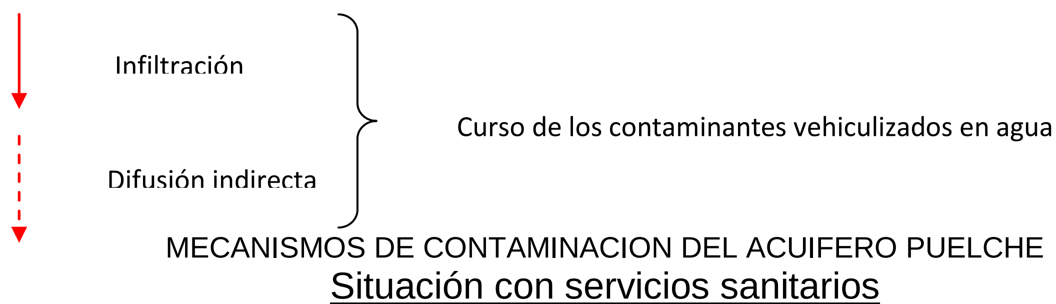
Zona saturada con agua de la capa freática **(contaminada)**

Perforación con buena aislación del freático

Arcilla

Arenas puelches

Barro azul

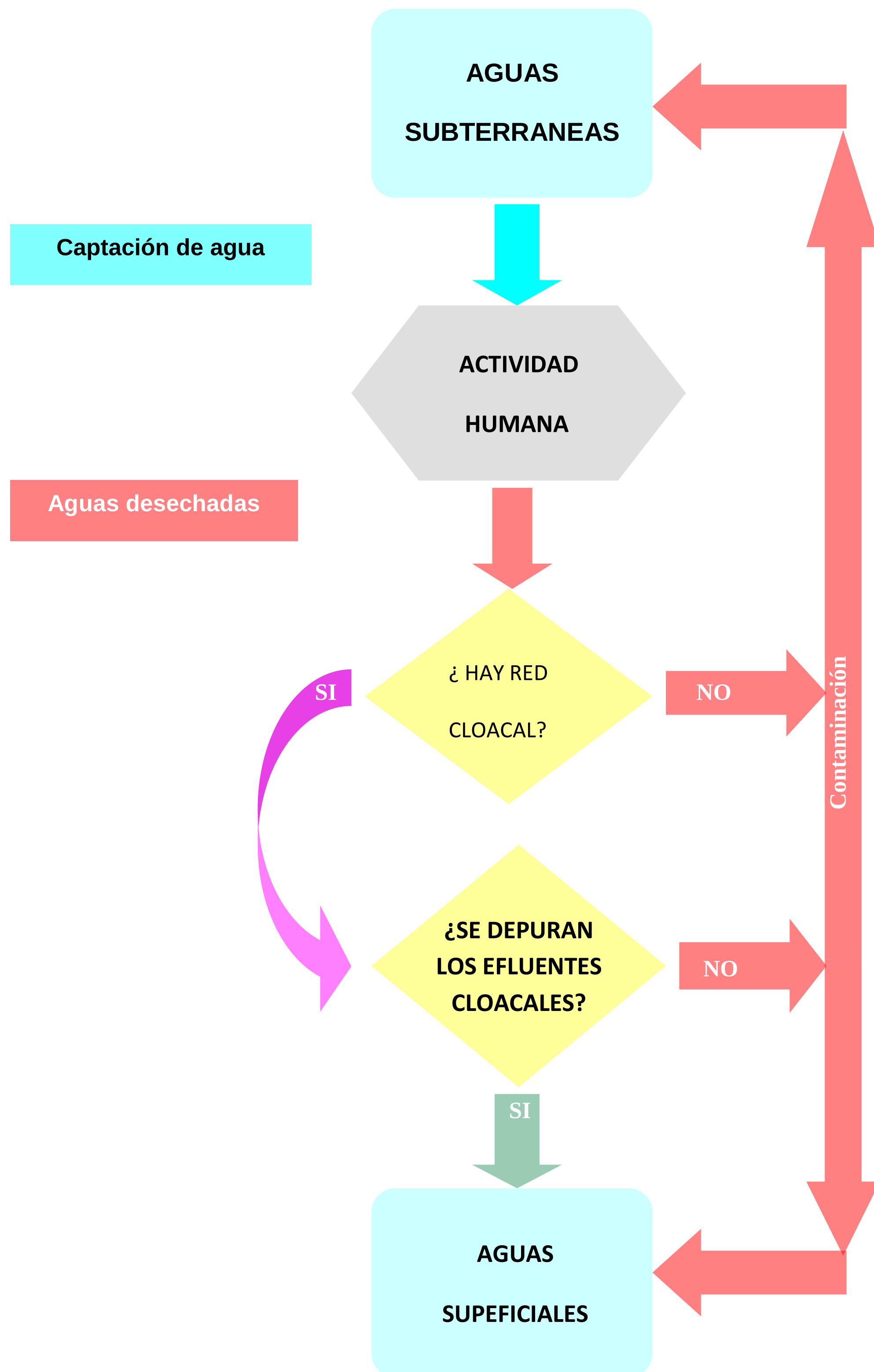


MECANISMOS DE CONTAMINACION DEL ACUIFERO PUELCHE

<u>Situación con servicios sanitarios</u>

- Intercambio de agua con cuerpos superficiales contaminados.
- Pérdidas de las redes colectoras.

Interrelación: aguas subterráneas aguas superficiales



El esquema que antecede pretende poner en evidencia la relación entre las aguas subterráneas, aquí puestas arriba de ex – profeso, y las aguas superficiales. Mientras que en éstas últimas se manifiesta en forma evidente la contaminación, aquellas permanecen ocultas y, tal vez con un cierto tiempo de demora, pero inevitable y finalmente, terminarán también contaminadas.

Los sistemas de depuración de efluentes son esenciales para la preservación del recurso:

La manera de evitar la contaminación de los recursos subterráneos es la misma que para los recursos superficiales: recoger todos los efluentes líquidos y tratarlos adecuadamente antes de verterlos en las aguas superficiales.

Construir plantas depuradoras de efluentes cloacales e industriales sigue siendo la mejor manera de proteger a los acuíferos subterráneos. Otra fuente de contaminación potencial son los vertederos de residuos domiciliarios e industriales.

El vertido directo de efluentes líquidos en el subsuelo resulta sumamente peligroso, aún si se los trata previamente, dada la dificultad de control y a que resulta difícil asegurar que el agua subterránea no termine arrastrando los desechos hasta áreas alejadas de la que recibiera el efluente original, con el consiguiente peligro de que habitantes de esas zonas terminen ingiriendo agua contaminada.

Explotación racional - Sobreexplotación.

El otro aspecto esencial de la conservación de los acuíferos es el de evitar la sobreexplotación, que en términos sencillos significa no extraer más agua del acuífero de lo que ingresa al mismo por la recarga natural.

Como quiera que es difícil evaluar la magnitud de la recarga y ante la falta de estudios generales e indicaciones precisas de las autoridades de control, debe atenderse a los indicios que los propios acuíferos dan durante su explotación. Así deberá controlarse cuidadosamente aquellos acuíferos cuyos niveles estáticos muestren una tendencia permanente hacia la baja y las variaciones de su calidad, aumento de salinidad, dureza, etc.

Una medida saludable consiste en autolimitar los caudales de extracción, subdividiendo si es preciso la extracción en varios pozos distribuidos sobre un área lo mas extendida posible. Esta configuración tiene además la ventaja de minimizar los riesgos de la falta de abastecimiento por una falla, por otra parte los pozos de bajo caudal tienen menor posibilidad de sufrir desperfectos.

Salinización y agotamiento

Cuando se explota intensamente un acuífero los niveles comienzan a descender, pero mucho antes del agotamiento, frecuentemente aparecen incrementos del contenido salino, en muchos casos el agua se torna completamente inservible para cualquier uso mucho antes de haberse manifestado problemas de agotamiento. En estos casos deberá estudiarse la causa que puede ser entre otras:

- Avance de los llamados “frentes salinos”, aguas infiltradas con mucha antelación que han tenido oportunidad de disolver las sales presentes en los estratos que las albergaron y albergan.
- Elevación de las aguas de una capa subyacente, de mayor contenido salino
- Intrusión de agua salada desde el mar

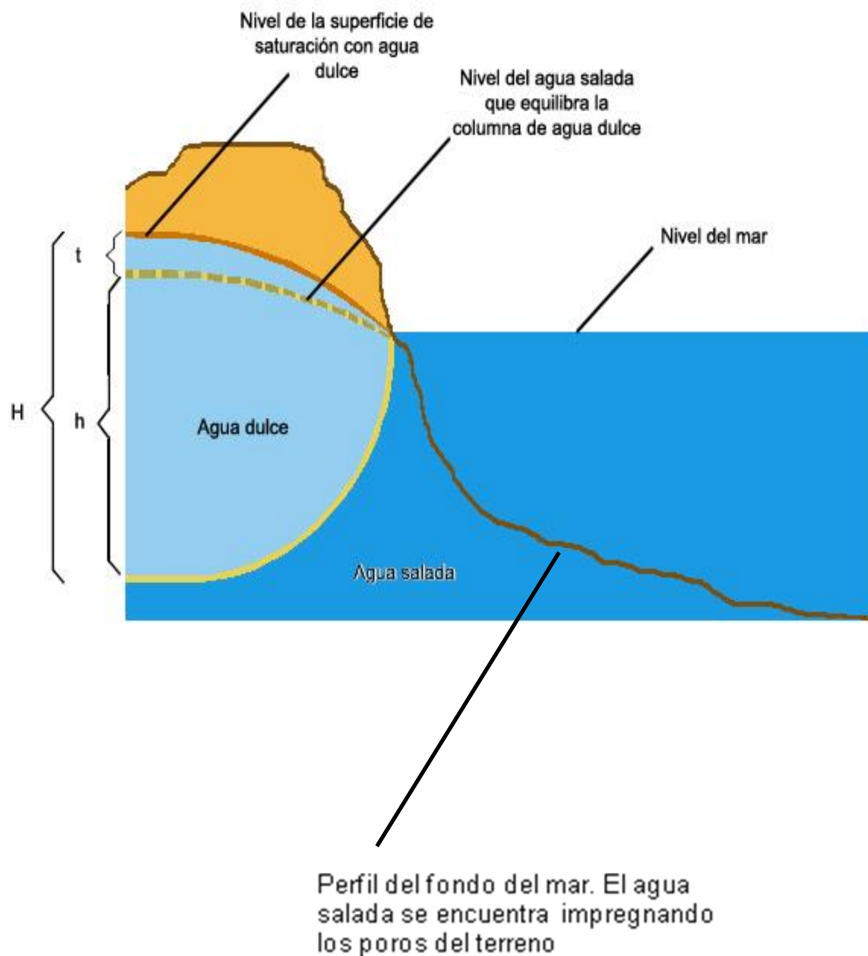
Principio de Ghyben – Herzberg:

Cuando las aguas subterráneas llegan al mar ocurre un fenómeno de difusión iónica de las sales marítimas en el agua dulce, pero el mismo es en general reducido, vertiéndose las aguas continentales dulces en el mar.

Las aguas saladas en razón de su mayor densidad tienden a ocupar las profundidades por debajo del agua dulce, en el fondo marino y en el área de tierra firme inmediatamente en contacto con éste.

En la zona costera las aguas saladas elevan a las aguas dulces y es frecuente encontrar agua dulce en las playas a escasa distancia de la zona de marea alta.

El equilibrio entre estas dos masas de agua está regulado, cuando el terreno es perfectamente permeable y homogéneo, sólo por la relación entre las densidades respectivas



Sea:

H= altura de la superficie de saturación con agua dulce sobre la masa de agua salada

h= altura de la columna de agua salada que equilibra a la altura H

t = diferencia de alturas entre el nivel del agua dulce y el nivel de agua salada

$\gamma_{\mathbf{d}}$= peso específico del agua dulce ~ 1 (1)

$\gamma =$peso específico del agua de mar ~ 1, 027 (2)

El equilibrio indica que: $H\gamma_{\mathbf{d}} = h\gamma_{\mathbf{d}} + t\gamma_{\mathbf{d}} = h\gamma$ (3)

Por (1) es: $h + t = h\gamma$ (4)

Por lo tanto es: $t = h(\gamma-1)$ (5)

Y finalmente $h= t /(\gamma-1)$ (6)

Por (2) resulta: $h=37t$ (7)

Lo que significa que cada metro de altitud (t=1m) del agua dulce le corresponde una columna de h=37 m de agua dulce por encima del nivel de agua salada.

En otras palabras: si t disminuye por bombeo de manera permanente en 1 metro, h lo hace 37 m o lo que es lo mismo el agua salada asciende 37 m.

En la práctica se adopta una relación de 40:1 en forma preventiva. Esta relación advierte (tal vez deberíamos decir explica) lo que sucede cuando las captaciones de agua dulce próximas al mar son invadidas desde abajo por el agua salada.

Conos de depresión e interferencias

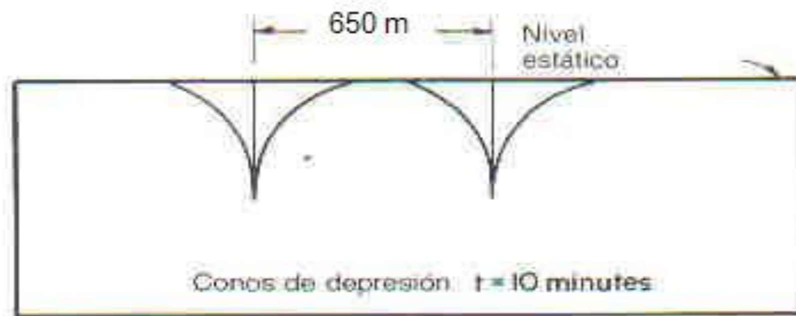
Se ha visto que al bombear un pozo se establece un cono de depresión coaxial con el eje del pozo. Este cono posee un radio o alcance que se extiende, en ocasiones y dependiendo de las características del acuífero y del caudal bombeado, cientos de metros.

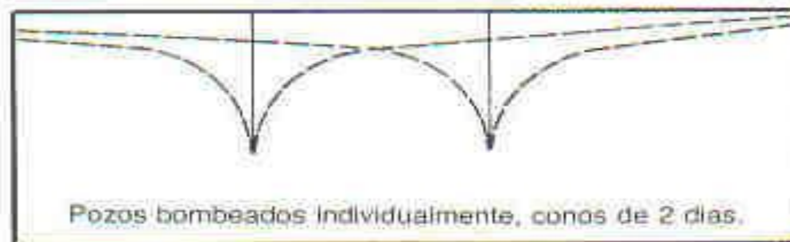
Cuando en una misma región existen varios pozos bombeando simultáneamente y esa situación se mantiene en el tiempo, los conos respectivos se extienden y terminan por interceptarse potenciándose mutuamente como puede verse en la figura de más abajo.

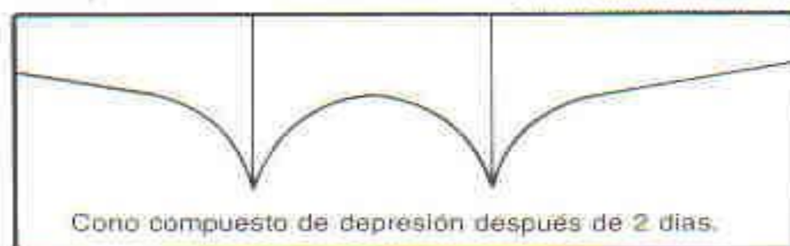
La situación tiene dos efectos claros: por un lado cada pozo pasa a bombear con un nivel dinámico más deprimido y cada pozo que entra en funcionamiento lo hace desde un nivel estático a su vez también más alejado de la superficie.

Con el tiempo y de persistir esta situación toda la región pasa a poseer sus niveles deprimidos y comienza el “efecto de llamada” sobre las regiones aledañas, se genera asi un “cono de depresión permanente o estacionario” que afecta a toda la región y se va extendiendo hacia las zonas circundantes.

Las aguas subterráneas de estas zonas resultan sumamente vulnerables a los aumentos de salinidad antes señalados.







Tomada de El Agua Subterránea y Los Pozos – Johnson Inc.

QUE HACER CON UN POZO QUE SE DEJA DE EXPLOTAR

Uno de las causas más frecuentes y significativas de la contaminación de pozos y en ocasiones de las aguas subterráneas en extensas áreas, es el abandono de pozos que habiendo sido bien o mal construidos, dejan de emplearse sea porque presentan fallas o bien porque ya no se necesita explotarlos.

Estos pozos se constituyen entonces en fuente de contaminación para los acuíferos que atraviesan o alcanzan porque, aunque su construcción haya sido cuidadosa, con el transcurso del tiempo sus entubados terminan por deteriorarse y permiten el ingreso de agua y de los contaminantes vehiculizados en ella o bien éstos ingresan por la boca superior que se deja descubierta.

Por otra parte existe el riesgo reiterada y lamentablemente convertido en accidente, de la caída de personas y animales en estos pozos descubiertos, que se transforman así en una trampa muchas veces mortal.

A todo pozo que se deje de usar por un período más o menos extenso aunque transitorio, se le debe extraer el equipo de bombeo y cubrirlo con una tapa colocada de tal modo que para removerla se requiera del uso de herramientas (v.g. soldada, roscada, pegada o cementada, con bridas, etc. dependiendo del material del extremo superior del ademe o camisa). Cuando exista una cámara, arqueta o gabinete que protege la boca del pozo y posea cierres que requieran de llaves o herramientas para abrirlos, bastará con asegurar dichos accesos . Hay que tener la certeza además de que no puede ingresar agua de lluvia, etc.

Cuando un pozo se da de baja por fallas o abandono definitivo, hay que obturarlo, cegarlo o rellenarlo con materiales inertes. A ese respecto existen reglamentos que especifican como debe efectuarse este trabajo y que deberán consultarse en cada caso.

En primer lugar debe extraerse por completo el equipo de bombeo y preferentemente el filtro y demás tuberías que puedan removerse. La factibilidad de estas operaciones va a depender de la forma constructiva del pozo.

Cuando no sea posible remover la rejilla o filtro y el tubo porta filtro o sostén del filtro debe rellenarse con grava, canto rodado, piedra partida o arena gruesa y el ademe o tubo camisa con pasta de cemento portland. En ocasiones se rellena con una mezcla de bentonita y cemento portland, siendo esencial en cualquier caso asegurar un completo relleno, con material inerte e impermeable, de la sección de tubo que se encuentra en coincidencia con el estrato confinante superior. A ese fin no deben emplearse mezclas de materiales que se segregarán por diferencia de densidades al ingresar al agua.

En ningún caso se deben obturar con tierra vegetal, suelo del lugar, materiales permeables hasta la superficie y mucho menos con residuos domiciliarios, vegetales o industriales.

Los pozos que se abandonen deben continuar figurando en los planos del predio o lugar en donde están construidos. Es conveniente enumerar los pozos de manera correlativa y cronológica y mantener esa información actualizada.

Para ubicar los pozos se deben tomar como referencia mojones, edificios que vayan a permanecer con certeza muchos años (v.g. las iglesias) y preferentemente referenciarlos a cotas geográficas geodésicas, con coordenadas Gauss o similares.

Es bastante común que los pozos abandonados (aún los bien obturados) se conviertan en una problema cuando se olvida su emplazamiento. Los mal obturados por su parte provocan a veces que perforaciones bien construidas en sus proximidades tengan inconvenientes tales como contaminación inexplicable o durante su construcción fugas incontroladas de la inyección de la máquina de perforar por haber ingresado a la zona de alta permeabilidad, que los pozos que han bombeado caudales importantes generan a su alrededor.

4.4 EQUIPOS DE BOMBEO UTILIZADOS EN PERFORACIONES

Previamente se definen algunos conceptos significativos y unidades que aparecen cuando se desea comprender el funcionamiento de los diferentes equipos de bombeo que se emplean en las perforaciones.

Caudal (Q): volumen de agua bombeada desde la perforación en una determinada unidad de tiempo. Por ejemplo m3/h; L/s; etc.

Altura manométrica (H): expresa la energía total que debe entregar la bomba a la unidad de peso del fluido. En nuestro caso se expresa habitualmente en Kgm/m lo que simplificando, resulta ser m (metro) unidad de longitud.

La altura manométrica se compone, para un momento y una sección de la línea de flujo dados, de:

1. Una altura geométrica ***hg*** de elevación que se debe tomar midiendo en dirección vertical, la distancia que media entre el nivel dinámico de bombeo y el nivel del eje de la línea de flujo analizada. Esta altura representa el trabajo que ejerce la bomba, para que el agua aumente su energía potencial, pasando de un nivel a otro, venciendo el campo gravitatorio terrestre.
2. Una altura representativa de o equivalente a, la energía debida a la presión que posee el fluido bombeado cuya expresión matemática es $hp=p/\gamma$ adonde ***p*** es la presión y γ es el peso específico del fluido bombeado a la temperatura y presión en que se encuentra el mismo.
3. Una altura equivalente a la energía cinética, dada por $hv=V^2/2g$ que posee el fluido.
4. Una altura equivalente a las pérdidas de energía por fricción que sufre la unidad de peso a lo largo de la línea de flujo. $hf= f(V^2; L;1/Ø)$

En el caso de las bombas para extraer agua de perforaciones que se analiza aquí y al considerar en general el flujo desde el nivel dinámico de bombeo hasta el máximo nivel que alcanza la tubería de impulsión, la altura correspondiente a la energía cinética es despreciable toda vez que las velocidades de circulación en las tuberías de aspiración y de descarga de las bombas difícilmente superen los 3 m/s (en cuyo caso $hv \leq 0,5m$), resultando:

$$H(m) = hg + hp + hf$$

En el caso frecuente de equipos que descargan a presión atmosférica la

$hp=p/\gamma=0$ y resulta: $H(m) = hg + hf$

Potencia (N): es la energía puesta en juego en la unidad de tiempo. Aquí cabe diferenciar entre la potencia que recibe la bomba por parte de la planta motriz (motor eléctrico, de explosión, etc.) y la que la bomba efectivamente cede al fluido

que maneja. Esta última será forzosamente menor que aquella por las pérdidas de energía propias de la bomba, energía esta que se disipa en forma de calor y de sonido. La evaluación de estas pérdidas se hace conociendo el rendimiento de la bomba , información que debe suministrar el fabricante. Así las cosas, la potencia que se debe entregar a la bomba es proporcional al caudal ***Q*** y a la altura ***H*** (aumenta con ellos) e inversamente proporcional al rendimiento:

$$N = \frac{\gamma Q H}{75 n}$$

Donde:

N: potencia en CV

γ: peso específico del fluido bombeado a la temperatura y presión a que se encuentra el mismo.

Q: caudal en m3/s

H: altura manométrica total en m

n: rendimiento del conjunto motor-bomba

Aspiración: un tratamiento aparte merece la aspiración de la bomba. La capacidad de aspiración de cualquiera de los elementos impulsores que se describirán, está limitada por:

- La presión atmosférica, que es la verdadera causa de que el líquido ascienda por una columna en la que se ha practicado una depresión. Esta altura es de 10,33 m cuando el líquido aspirado es agua a temperatura y presión normalizadas (0°C y a nivel del mar). Este límite es teórico ya que en la práctica no puede lograrse nunca el vacío perfecto que se necesitaría para alcanzarlo. Esto significa en términos prácticos que si el nivel dinámico de bombeo se aleja más de 6 ó 7 metros del elemento de la bomba que provoca la aspiración, la misma cesará al igual que la impulsión del agua.
- La cavitación, fenómeno que consiste en la evaporación parcial del líquido aspirado aún cuando se encuentre a temperatura ambiente, por efecto de las bajas presiones generadas en la aspiración, se alcanza en ese caso la "presión de vaporización" del líquido, termodinámicamente hablando: se está en un punto sobre la campana del diagrama T-S.
  Se forman así bolsas de vapor dentro de la masa líquida, las que al avanzar en la corriente fluida, ingresan a zonas de mayor presión y colapsan, provocando fuertes efectos localizados y, los que en su forma más severa, producen "picaduras" con deterioro de los elementos impulsores de la bomba, además de ruidos y vibraciones. Se deben en consecuencia limitar los valores de depresión o lo que es lo mismo la altura

de aspiración. Los fabricantes informan cual es la altura de columna de agua mínima o presión mínima que debe haber sobre el cero de la presión absoluta, para que la bomba no cavite. Este dato se expresa como ANPA en español que significa “altura neta positiva de aspiración” y es como queda dicho un dato que debe suministrar el fabricante.

Así si el ANPA requerido (el necesario para que no cavite una bomba) es de 4,5 metros, eso significa que para una presión atmosférica local equivalente a 10 mca la distancia máxima al nivel dinámico de bombeo podrá ser de hasta 5,5 mca.(para ser más precisos debería restarse todavía a esta última medida la altura equivalente a las pérdidas de carga que ocurren en la línea de aspiración que no hayan sido incluidas por el fabricante en la fijación del ANPA requerido).

Si se mantiene a 3 m esa distancia diremos que el ANPA disponible es de 7m y como ANPA disponible ≥ ANPA requerido, se cumple con la condición necesaria para evitar la cavitación.

La limitación de la distancia de aspiración hizo caer en desuso aquellas bombas que como la centrífuga de aspiración simple (sea su ejecución horizontal o vertical) y la de diafragma, ocupan un espacio incompatible con su descenso en un pozo mecánicamente perforado. En este caso o bien se las deja en la superficie, cuando el nivel dinámico se mantiene dentro de los límites antes fijados o bien se las debe bajar en los llamados antepozos que preceden a la perforación propiamente dicha o en pozos de gran diámetro, en general cavados de manera manual y a poca profundidad.

En estos casos cuando el nivel de agua baja, deben continuar profundizándose el pozo cavando por dentro del existente y cuando el agua asciende y amenaza con cubrir a los motores de las bombas obliga a reubicarlas en una posición mas alta.

A estos problemas, se suma el hecho de que los pozos de este tipo no poseen una buena aislación ya que la misma depende generalmente de una pared construida con ladrillos y mortero y en consecuencia se contaminan frecuentemente, mas el engorroso mantenimiento y la necesidad de contar con una válvula de retención de pié de cierre perfecto en el caso de las bombas centrífugas (de lo contrario no aspirarán al arrancar) Actualmente sólo se mantienen operando en pequeñas captaciones.

Descripción de los distintos tipos de bombas

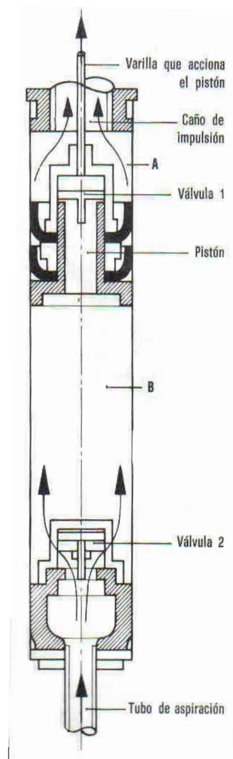
Tipo 1: Bomba de émbolo o pistón:

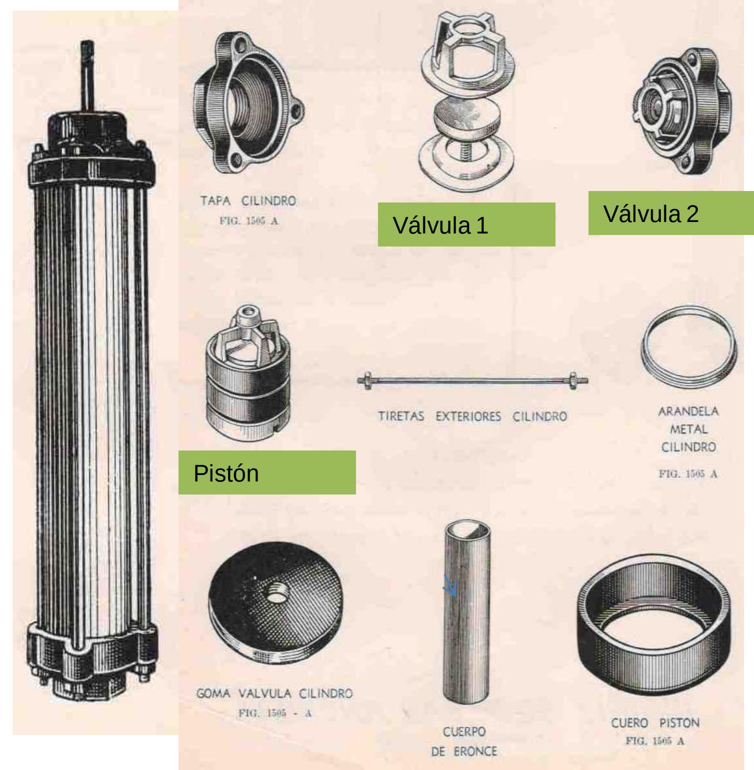
Actúa por el principio de hacer actuar una fuerza sobe el líquido. Es una bomba de desplazamiento positivo, en donde el pistón (eventualmente un diafragma) es comandado a su vez por algún mecanismo que le comunica un movimiento alternativo.

El pistón o émbolo, se mueve dentro de un cilindro que se instala dentro del pozo y preferentemente debajo del nivel dinámico de bombeo. En la superficie se encuentra el mecanismo de comando con la planta motriz que le confiere el movimiento alternativo.

Posee además un sistema de válvulas automáticas. Cuando el pistón sube (en realidad esta disposición de la bomba podría ser también horizontal pero naturalmente presentaría por su tamaño, serios inconveniente para instalarla en el pozo) empuja el agua que está en la cámara A, hacia la superficie, los cueros flexibles se “acuñan” contra el cilindro y cierran herméticamente. Simultáneamente entra agua por la depresión producida en la cámara B debajo del pistón. Durante esta etapa la válvula 1, que comunica A y B, se cierra y la 2, ubicada al pie del cilindro, se abre, permitiendo que el agua pase del pozo a la cámara B debajo del pistón. En la segunda fase el pistón baja, la válvula 1
se abre y el agua pasa de la cámara B a la A al ser impelida por el descenso y el pistón queda listo para reiniciar el ciclo.

4.4 Bombas empleadas en la extracción de agua subterránea Émbolo o pistón

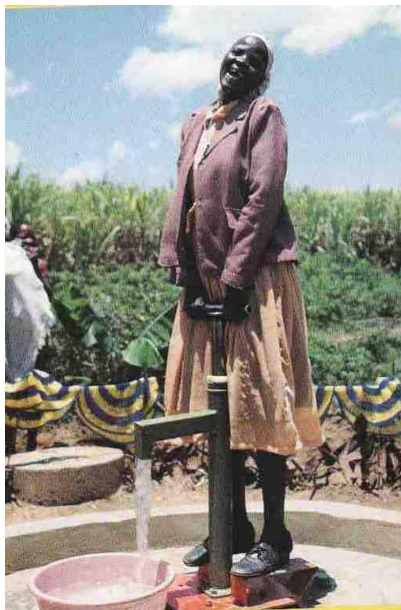


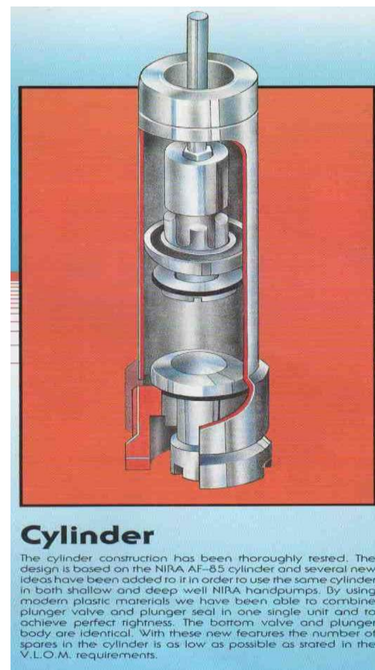


175

La ventaja principal de este sistema es la gran altura manométrica que se logra a partir de un pequeño diámetro de pistón y por consiguiente de pozo, lo que significa economía de construcción. Son casos típicos de construcción los molinos de viento y las bombas individuales para viviendas, sean de mano o accionadas con motor. Antaño se emplearon en pequeños abastecimientos públicos, con pistones instalados en algunos casos a 100 m de profundidad y más.
Las principales limitaciones y desventajas son el bajo caudal y el importante costo de mantenimiento por el pronunciado desgaste que sufre el elemento impulsor y el mecanismo de accionamiento, característica ésta propia de los movimientos alternativos, compuestos por engranajes y mecanismo de biela – manivela o excéntricas, todo lo cual debe funcionar en baño de aceite. Estos mecanismos limitan el caudal que no puede incrementarse más allá de cierto valor por aumento del diámetro, de la longitud de la carrera del pistón o por elevación de la velocidad de ascenso y descenso del pistón, en razón de los problemas inerciales aludidos y además porque las aperturas y cierres de válvulas originan golpes de ariete, cuyas ondas de presión recorren la tubería ascendente hasta alcanzar la superficie, pudiendo provocar roturas en la bomba y en las propias tuberías. Lo usual es emplear velocidades de hasta 30 ciclos por minuto. En ocasiones se emplean resortes para asegurar positivamente el cierre de las válvulas y disminuir los rebotes de las mismas causados por las ondas de presión.

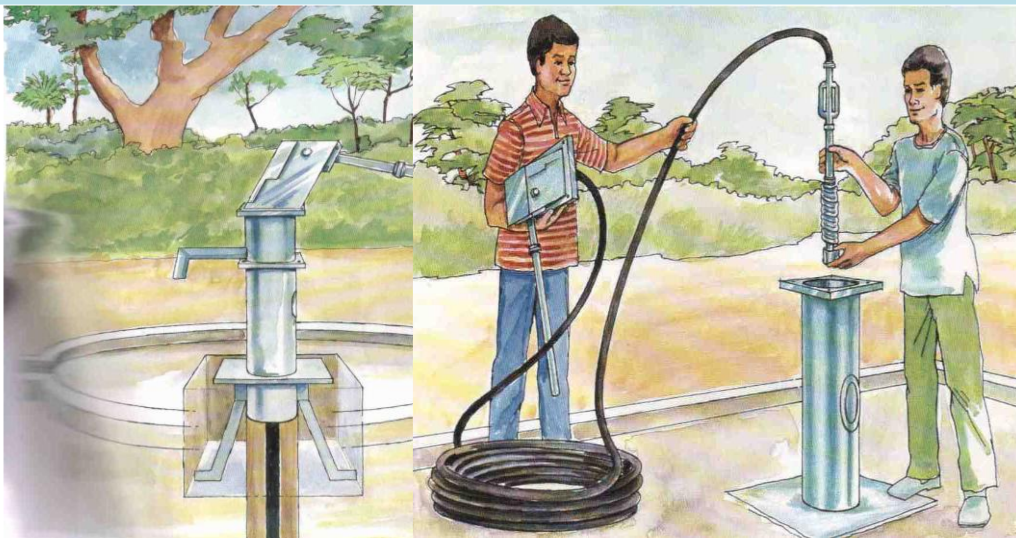
4.4 Bombas empleadas en la extracción de agua subterránea
Bombas de émbolo o pistón





175

4.4 Bombas empleadas en la extracción de agua subterránea
Bombas de émbolo o pistón

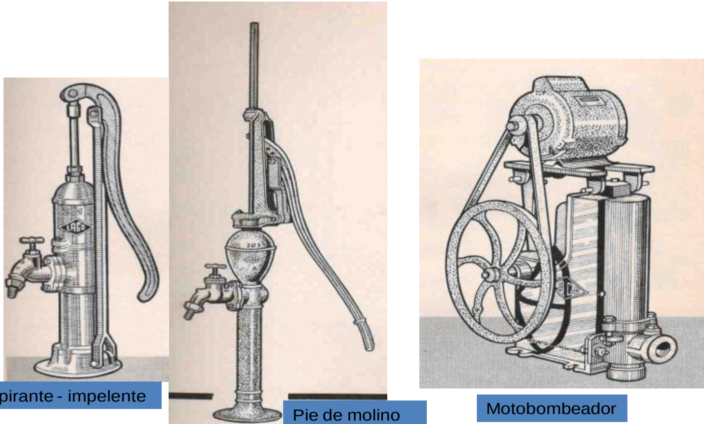


176

La bomba a diafragma emplea el mismo principio y aquí la succión se consigue mediante el desplazamiento de un diafragma de material flexible cuyos borde perimetral se encuentran fijo y su centro es desplazado con un movimiento alternativo.

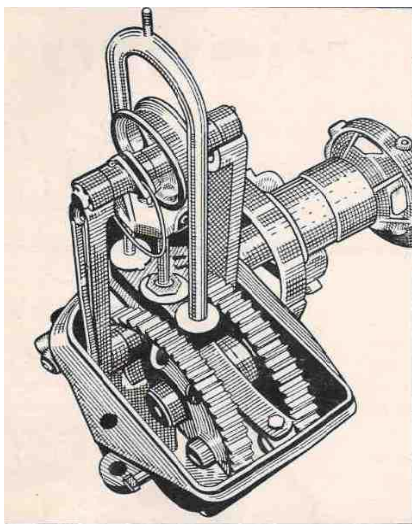
Las válvulas poseen siempre resortes para asegurar su cierre, dado que la carga hidrostática suele ser muy pequeña. Su uso se limita a lugares como los próximos a ríos o para extraer agua de pozos someros en las dunas o médanos de las regiones marítimas costeras, en donde los niveles del agua a bombear se encuentren muy próximos al nivel de terreno o al de instalación de la bomba..

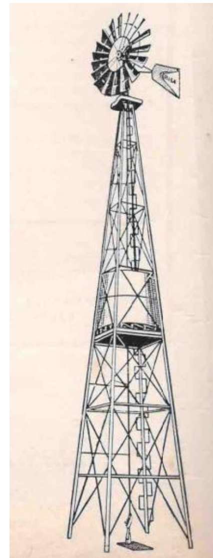
4.4 Bombas empleadas en la extracción de agua subterránea
Bombas de émbolo o pistón



177

4.4 Bombas empleadas en la extracción de agua subterránea
Bombas de émbolo o pistón : molino de viento





178

Detalle de la máquina del molino **Torre con tanque de agua cónico**

Tipo 2: Bombas mammut o de elevación de agua por aire comprimido (air – lift):

Actúa por el principio de generar una mezcla de aire comprimido y agua. Se trata de un sistema de bombeo extremadamente sencillo: se insufla aire por una tubería ubicada por dentro o al costado del tubo de aducción, el aire al mezclarse con el agua conforma un fluido de menor peso específico que el agua circundante y en consecuencia la mezcla (no homogénea) asciende por el tubo de aducción por diferencia de densidad. En realidad se forman grandes burbujas de aires que ascienden con mayor velocidad que el agua arrastrando a la porción de la misma que se encuentra por encima. El aire a medida que va ascendiendo se dilata ya que disminuye la presión hidrostática aumentando, si se mantiene la sección del tubo de aducción, su velocidad de ascenso y provocando por arrastre una mayor velocidad del agua, que de esta manera aumenta de abajo hacia arriba. El flujo en la descarga es pulsante e irregular ya que aire y el agua salen prácticamente por separado.

Las ventajas de este sistema son entonces:

- Sencillez operativa
- Robustez y funcionamiento confiable
- Bajo mantenimiento

Desventaja:

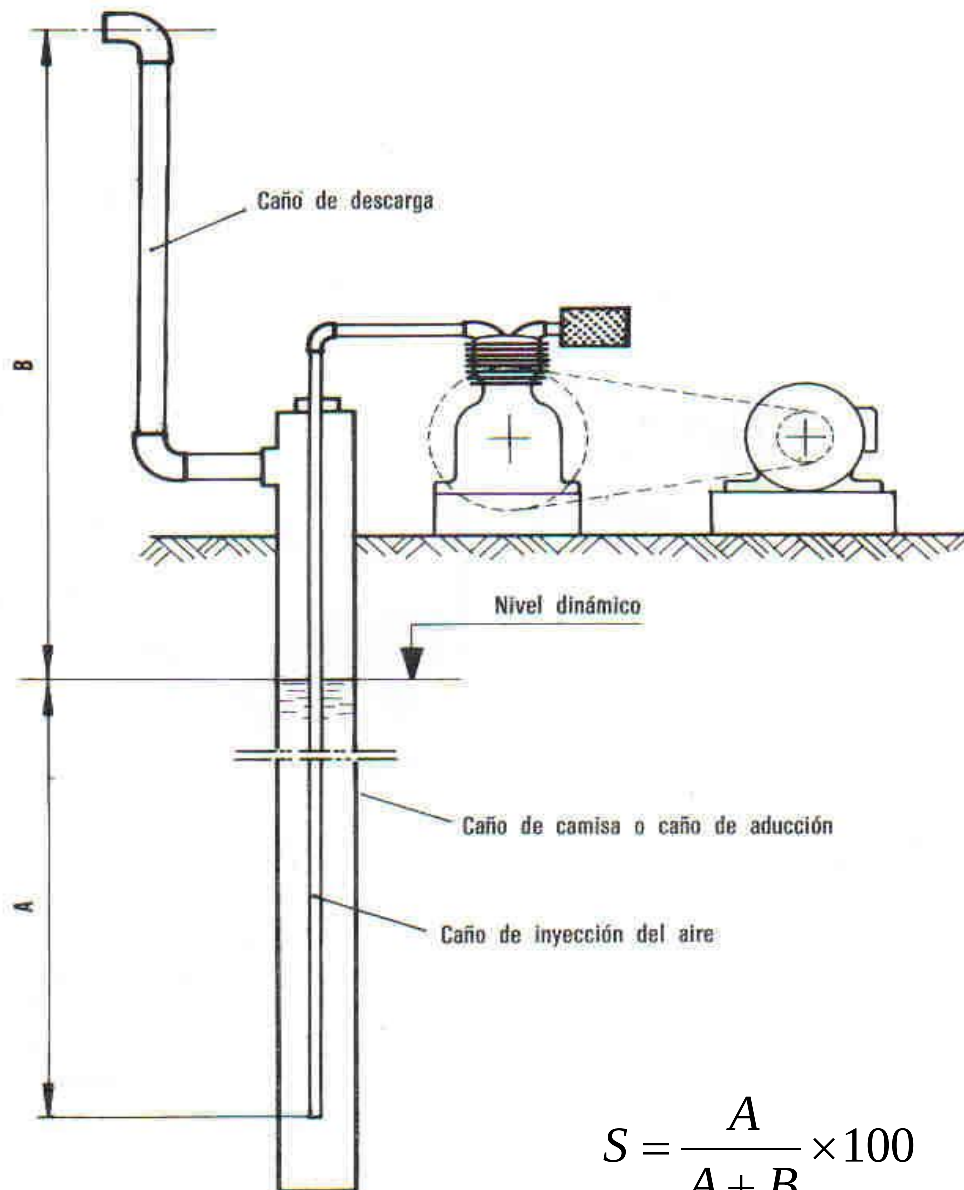
La principal desventaja es su bajo rendimiento energético del orden del 15 al 25%

Sumergencia:

Deben verificarse ciertos requisitos en la instalación para obtener un rendimiento satisfactorio, entre los cuales se pueden mencionar la sumergencia y la relación del diámetro de la tubería de aducción por donde sube la mezcla aire-agua y la capacidad del compresor que se emplea.

La sumergencia S es la relación o cociente entre la longitud del tubo de inyección de aire que queda por debajo del nivel dinámico de bombeo y la altura total que recorre el aire desde el extremo inferior del tubo de inyección hasta el extremo superior del tubo de aducción. Los valores próximos al 60% arrojan normalmente un mejor rendimiento energético, en general se consideran adecuadas aquellas sumergencias del orden de 0,5 a 0,75.

El tubo de aducción, que a menudo es el tubo de camisa o ademe del pozo aunque pude ser un tercer tubo (si contamos al ademe y al tubo de inyección de aire), debe guardar una relación con el caudal de aire que envía el compresor, un diámetro excesivamente grande hará que el aire escape a mayor velocidad que en un tubo de menor diámetro reduciéndose el arrastre de agua.



$$S = \frac{A}{A+B} \times 100$$

Por ello y bajo determinadas condiciones de funcionamiento, las bombas funcionando en diámetros pequeños de tubos poseen mejor rendimiento que aquellas que funcionan con tubos de aducción mayores aunque en estas últimas las pérdidas de carga sean menores.

La presión del compresor debe ser capaz de vencer la columna de agua que se instala por dentro del tubo de inyección cuando se detiene la insuflación de aire, un instante antes de ese punto (cuando “rompe” el aire al salir al interior del tubo

de aducción) es cuando el equipo de compresión absorbe la máxima potencia, luego como por afuera se genera el fluido mezcla de menor densidad promedio que el agua pura, bajan la potencia demandada y la presión de trabajo del compresor.

Este forma de bombeo, como ya se mencionara al hablar de los métodos empleados para desarrollar pozos, es particularmente útil debido a la enérgica acción del aire comprimido que al salir por el extremo del tubo de inyección logra remover las partículas que obstruyen las aberturas de la rejilla o filtro, extraer los materiales de granulometría fina que las rodean y contribuyen a eliminar los restos del lodo de inyección empleado para perforar.

Un factor que debe tenerse en cuenta especialmente al emplear este sistema para bombeo de agua potable, es la contaminación del aire circundante al compresor, incluyendo las bacterias y la posibilidad de que el aceite de lubricación del compresor se inyecte con el aire y llegue al agua que se extrae.

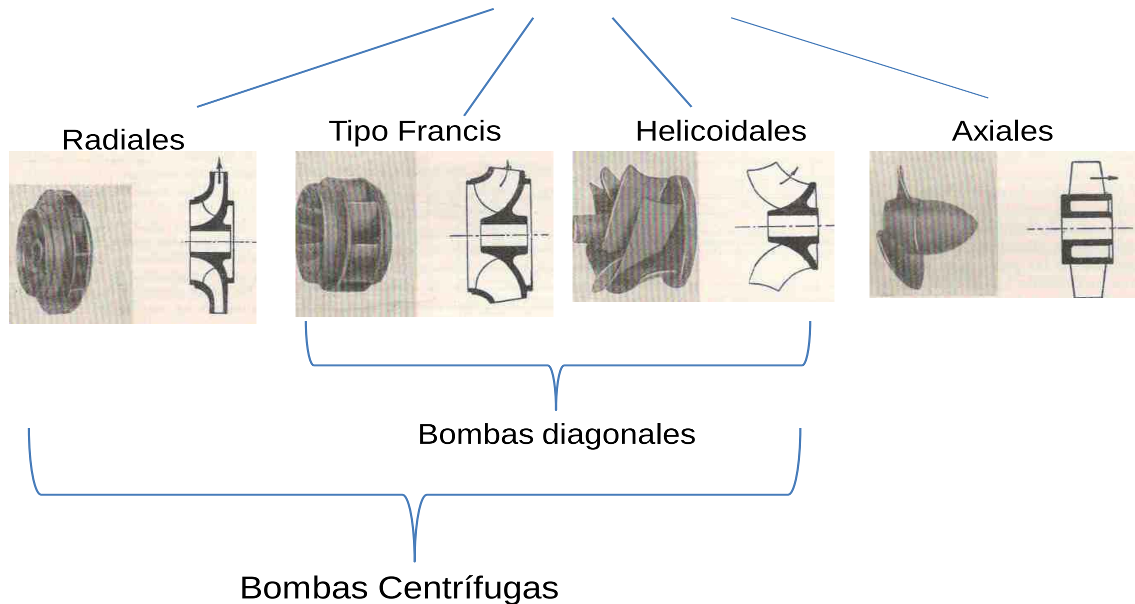
Tipo 3: Bomba centrífuga:

Consta básicamente de un rotor, llamado rodete o impulsor con álabes entre los cuales se produce una transferencia de energía del rotor al fluido manejado, mediante distintos fenómenos, que pueden resumirse así:

1. Trabajo de las fuerzas centrífugas por aumento de la velocidad periférica o tangencial desde el centro del rotor hacia los bordes con incremento de la energía cinética del fluido.
2. Trasferencia de energía cinética a energía de presión por disminución de la velocidad relativa entre álabe y fluido (corriente relativa retardada) como consecuencia del aumento gradual desde el centro a la periferia de la sección entre álabes por donde pasa el fluido.

La corriente de fluido abandona el rodete habiendo incrementado su presión para también su velocidad absoluta y dado que desde el punto de vista de rendimiento energético es preferible acumular la energía de forma de un incremento de presión antes que de un aumento de velocidad, ya que así se disminuyen en gran medida las pérdidas de energía, se hace que el líquido salido del rotor ingrese inmediatamente después en el otro elemento fundamental de la bomba centrífuga que es el difusor en donde por ensanche gradual de la sección, se transforma gran parte de la energía cinética en energía de presión. El difusor puede adoptar varias formas: difusor de paletas, caja espiral, anillo difusor entre ellas.

En cuanto al rotor puede presentar distintas formas que favorecen diferentes prestaciones y dan su denominación a la bomba:



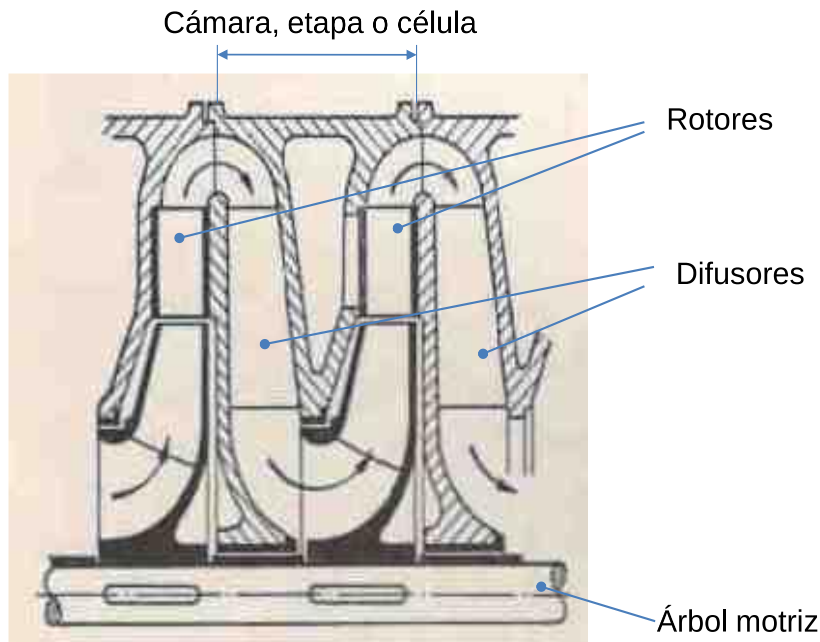
Radial: el movimiento del líquido en el interior del rotor es de dirección radial y sentido del centro hacia afuera. Son empleados para conferir al líquido mucha presión, pero por sus características manejan caudales reducidos.

Semiaxiales o diagonales: son los más frecuentemente empleados en bombas para pozos ya que combinan el manejo de caudales significativos con el logro de alturas manométricas como las que se necesitan en los pozos. El agua recorre en su interior una trayectoria en diagonal desde el centro hacia la periferia del rotor.

Axial: integran las denominadas bombas rotativas no siendo bombas centrífugas ya que presentan un principio distinto al descripto para éstas (por lo demás sólo aplicable rigurosamente a las bombas radiales). No se emplean en pozos profundos y en cambio se aplican masivamente para el bombeo de grandes caudales a poca altura manométrica.

El conjunto de un rotor y su difusor constituye una etapa, célula o fase.

4.4 Bombas empleadas en la extracción de agua subterránea
Bombas Centrífugas



182

El conjunto de etapas constituye el cuerpo de la bomba. Dentro de las bombas centrífugas existen distintos sistemas de ejecución, empleándose actualmente casi con exclusividad en el bombeo desde pozos la bomba de cuerpo sumergido o de pozo profundo, sea con el motor en la superficie y una transmisión hasta el cuerpo de bomba o con el motor sumergido conjuntamente con el cuerpo de bomba.

<u>Motor en la superficie</u>**:** La primera forma de ejecución recibe el nombre de bomba vertical de transmisión, de eje de transmisión o con árbol de transmisión, tiene un

eje que parte desde la superficie y llega al cuerpo de bomba para accionarlo. Este eje gira guiado por bujes concéntricos con la tubería de suspensión y soportados por ella. La lubricación y el enfriamiento de dichos bujes se efectúan por la misma agua que extrae la bomba. Posee el motor en la superficie que cuando es eléctrico va directamente aplicado sobre el cabezal de la bomba. Este componente soporta el motor y de él pende la columna de suspensión y en algunas versiones, posee en su interior el acoplamiento del eje del motor y del eje que llega hasta el cuerpo de bomba, con un mecanismo de regulación para ajustar la luz entre los rotores y los tazones que conforman el cuerpo de bomba.

En otros casos el eje se conecta en la parte superior del motor al eje de éste que es hueco y permite el paso del eje de transmisión de la bomba por su interior.

Cuando el motor es de explosión, diesel, etc. el cabezal posee un mecanismo por el cual o bien se acciona con una polea ubicada coaxialmente con el eje de la bomba y correas o bien y con un mando más adecuado por lo efectivo y robusto, el cabezal posee un mecanismo de engranajes que cambian la dirección de la transmisión poniendo el eje motriz horizontal y facilitando el acople directo con el eje de un motor externo. Este cabezal funciona con lubricación por aceite.

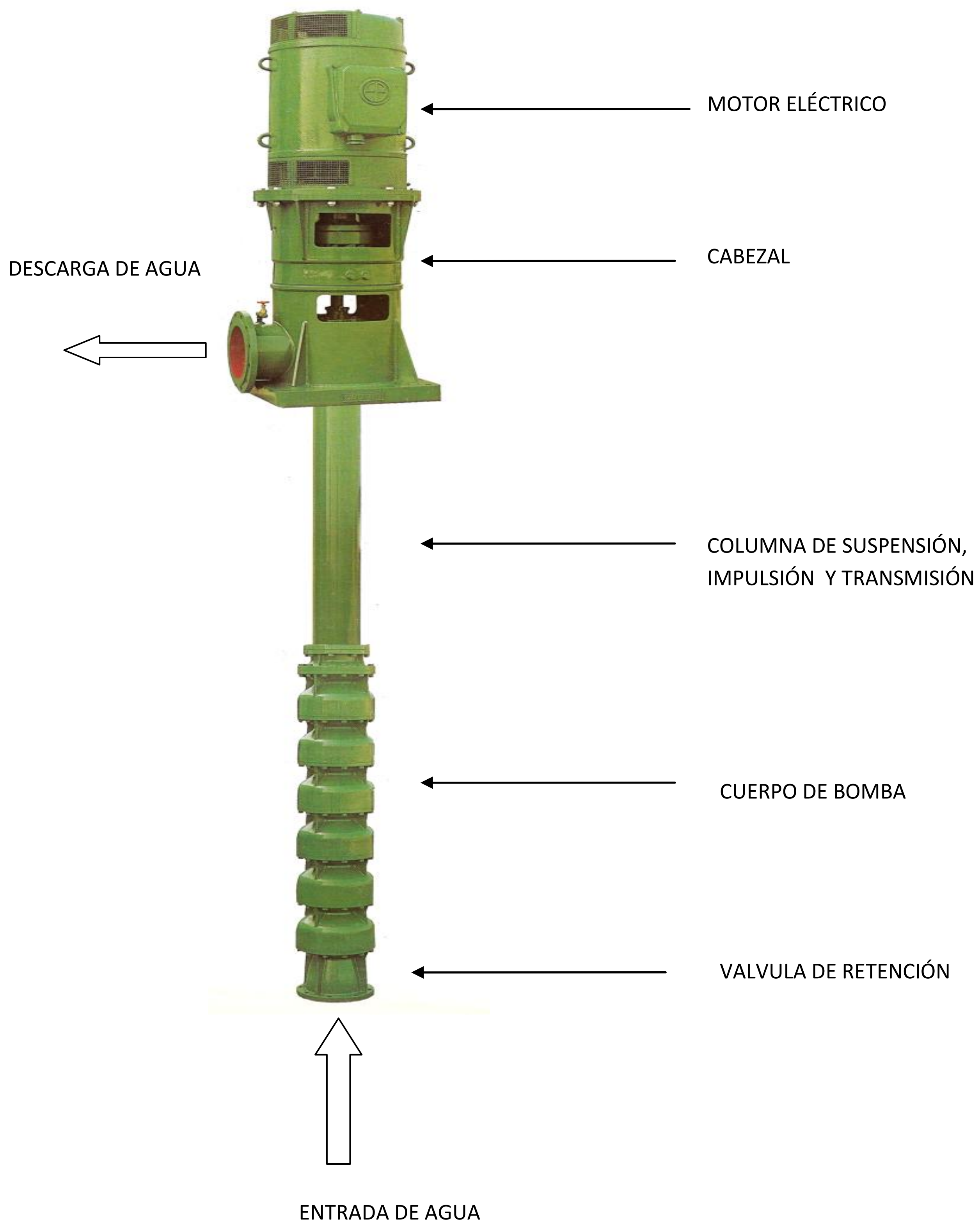
Otra función que en general tiene el cabezal de la bomba es conducir el agua desviándola de la dirección vertical con que sale del pozo a la horizontal de descarga (en otras ejecuciones menos evolucionadas esta descarga se hace por debajo del cabezal con un ramal existente en la columna de suspensión. Finalmente aloja un sistema de retención del agua que de lo contrario brotaría alrededor del eje de transmisión, compuesto por un sistema de estopas o retenes mecánicos de ajuste manual o automático.

En otra versión existe un tubo interior de la columna de suspensión y concéntrico con la misma, que protege al eje de transmisión que gira en baño de aceite o de agua limpia inyectada desde la superficie. Este tipo de ejecución es apto para el bombeo de aguas con arrastre de arena. En contraposición son bombas más

costosas y complejas y siempre existe la posibilidad de que, en el caso de lubricación por aceite, el mismo pase al agua bombeada, contaminándola.

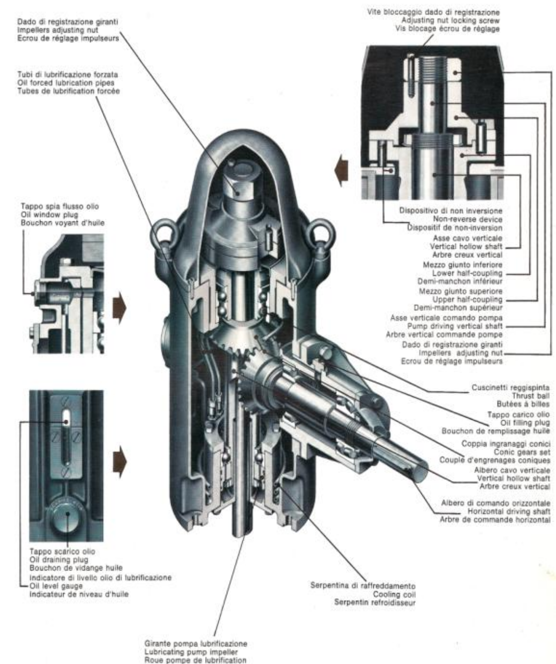
Como puede advertirse fácilmente por la descripción se trata de un equipo complejo que en cualquier caso posee muchas piezas en movimiento y por consiguiente está sujeto a desgastes pronunciados. Se deben construir con la robustez necesaria para evitar fallas y la necesidad de reparaciones frecuentes que lo dejen fuera de servicio. Son bombas de costo elevado.

En contraposición al poseer el motor en la superficie permite que el mismo sea fácilmente reemplazado o reparado. Las otras ventajas, decisivas en muchos casos fuera del costo, son el bombeo de aguas con suspensión de abrasivos y el accionamiento con plantas motrices no eléctricas.


MOTOR ELÉCTRICO
CABEZAL
DESCARGA DE AGUA
COLUMNA DE SUSPENSIÓN,
IMPULSIÓN Y TRANSMISIÓN
CUERPO DE BOMBA
VALVULA DE RETENCIÓN
ENTRADA DE AGUA

4.4 Bombas empleadas en la extracción de agua subterránea
Bomba centrífuga de eje vertical – cabezal a engranajes





188

CABEZAL A ENGRANAJES PARA ACCIONAMIENTO CON MOTOR SEPARADO (de explosión, diesel, etc.)

Con motor sumergido: son las bombas denominadas electrobombas sumergibles y actualmente las más empleadas en pozos para bombeo de aguas limpias libres de áridos y adonde se cuente con energía eléctrica.

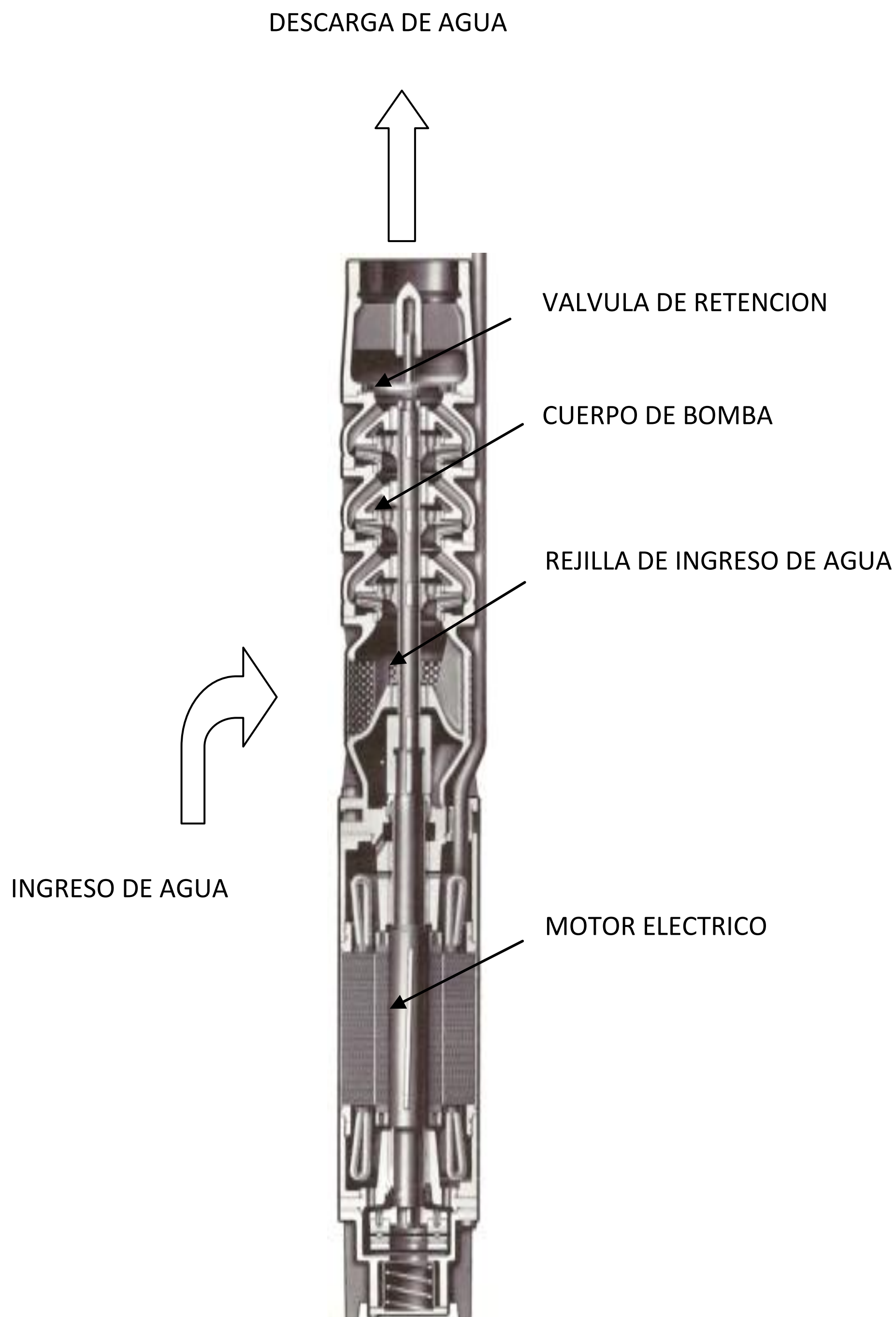
Incluso en estos casos se prefiere e menudo proveer un equipo de generación eléctrica o grupo electrógeno a la alternativa de colocar una bomba vertical de eje.

Ello es así porque su concepción es muy sencilla y ha sido posible partir de la evolución de la tecnología que ha permitido contar con motores bañados en agua (incluso en su interior) confiables y duraderos. Hasta hace unos 25 años atrás su precio era competitivo sólo para medianos y grandes abastecimientos y a partir de determinadas profundidades de instalación del cuerpo de bomba por la eliminación de la transmisión que poseen las bombas verticales. En la actualidad han disminuido sus costos en relación a las alternativas de tal manera que incluso compiten favorablemente en las pequeñas captaciones, existiendo equipos que pueden ser instalados por dentro de tubos de hasta 3" (76 mm) de diámetro. Sus ventajas frente a las alternativas (incluyendo la bomba de eyección o chorro de agua que se describe más adelante) son:

- Elevado rendimiento.
- Elimina los problemas derivados del descenso de los niveles de agua
- Ausencia de cavitación

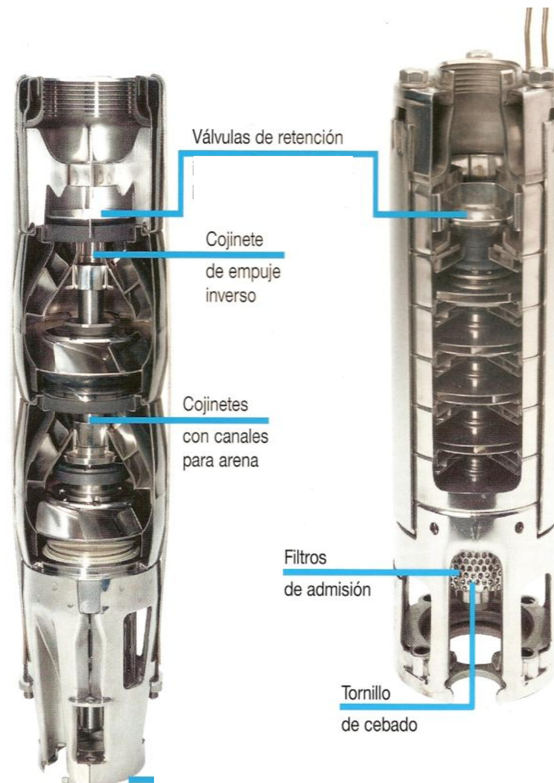
La primera ventaja derivada de hecho de aunar los excelentes rendimientos de cualquier bomba centrífuga con la eliminación de la larga transmisión mecánica que poseen las bombas verticales de eje. Esto se traduce en menor consumo de energía, desgaste reducido (siempre hablando de bombear agua limpia sin sedimentos) disminución de vibraciones y ausencia de ruido.

Las dos últimas ventajas mencionadas antes, se derivan del hecho de que el cuerpo de bomba puede instalarse con una adecuada inmersión mientras el pozo mantenga el diámetro mínimo necesario. Las bombas sumergibles en general se especifican precisamente por el diámetro mínimo del tubo dentro del cual pueden ser instaladas, así hay bombas de 3"; 4"; 6", 8", 10", etc.



CORTE DE UNA ELECTROBOMBA SUMERGIBLE

Bombas empleadas en la extracción de agua subterránea
Bomba sumergible – Cuerpos de bombas

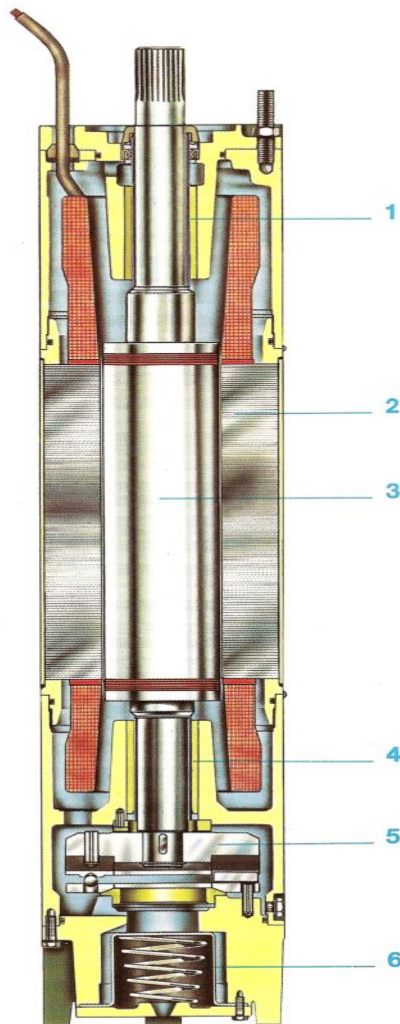


Rotores semiaxiales o diagonal

Rotores radiales

132

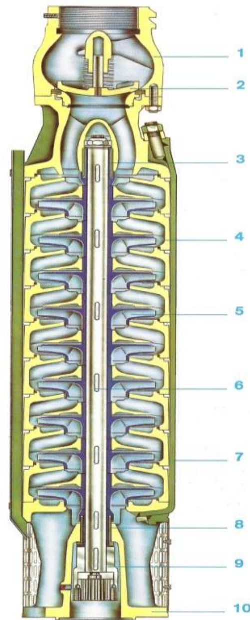
MOTOR ELECTRICO SUMERGIBLE – VISTA EN CORTE



1. Cojinete superior
2. Estator bobinado (devanado)
3. Rotor
4. Cojinete inferior
5. Cojinete de empuje axial
6. Membrana o diafragma

En la parte superior a la izquierda puede observarse en ingreso del conductor eléctrico que viene desde la superficie.

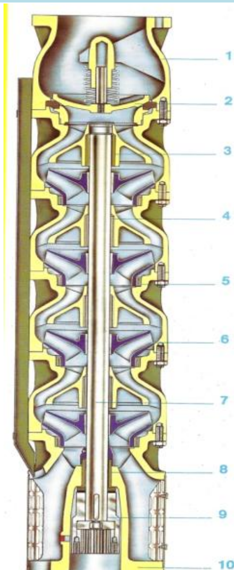
Bombas empleadas en la extracción de agua subterránea
Bomba sumergible – Cuerpo de bomba de rotores radiales



1. Cuerpo de válvula de retención
2. Clapeta
3. Cojinete superior
4. Cuerpo intermedio
5. Rotor o impulsor
6. Árbol de transmisión
7. Cuerpo externo/ camisa
8. Cojinete inferior
9. Acoplamiento al motor
10. Cuerpo de aspiración

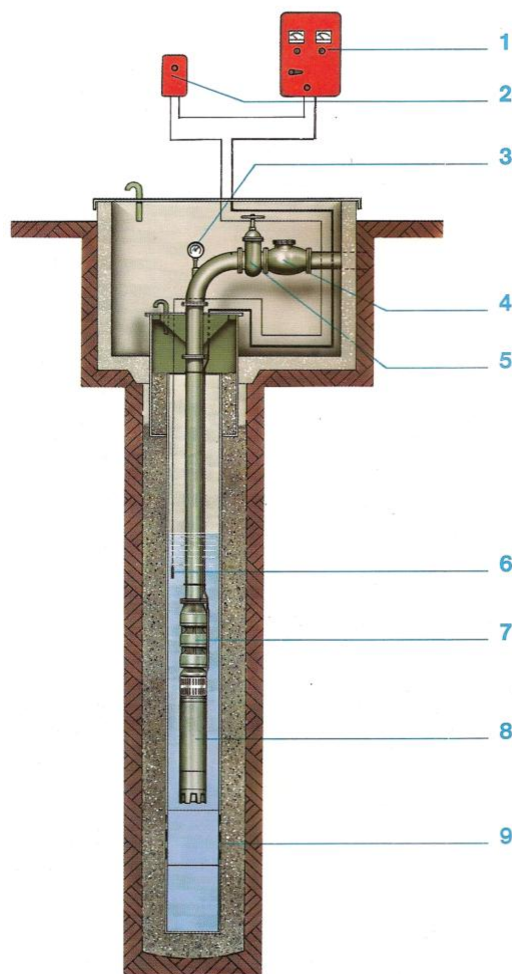
133

Bombas empleadas en la extracción de agua subterránea
Bomba sumergible – Cuerpo de bomba de rotores semiaxiales



1. Cuerpo de válvula de retención
2. Clapeta
3. Cojinete superior
4. Cuerpo intermedio
5. Anillo de retención
6. Rotor o impulsor
7. Árbol de transmisión
8. Cojinete inferior
9. Acoplamiento al motor
10. Cuerpo de aspiración

134



1. Tablero eléctrico de comando
2. Dispositivo para evitar el funcionamiento en seco
3. Manómetro
4. Válvula de retención
5. Válvula de regulación
6. Sonda eléctrica para sensar nivel de agua
7. Cuerpo de bomba
8. Motor eléctrico
9. Filtro del pozo

Bombas empleadas en la extracción de agua subterránea
Bomba sumergible – Armado en una perforación



137



Tipo 4: Bomba de eyección o de chorro de agua:

Si bien emplea una bomba centrífuga de uno o más rodetes radiales en la superficie, el elemento fundamental de este tipo de bomba es el eyector. Su funcionamiento se basa en la depresión que provoca una corriente de agua descendente, corriente secundaria, que al salir de una tobera adonde se acelera, entra en la zona estrecha de un tubo Venturi.

Esta zona del tubo Venturi está conectada a su vez con la boca de aspiración del fluido. Este es aspirado por la baja presión y mezclado con el agua de la corriente secundaria, conforma la corriente principal que asciende por la parte superior del Venturi aumentando gradualmente su presión al disminuir la velocidad por aumento de la sección, este tramo del tubo Venturi actúa así como difusor.

La corriente descendente es generada por la bomba centrífuga en la superficie y baja por un tubo paralelo al de aducción o bien, en otra versión constructiva, por el espacio concéntrico entre éste y el tubo de camisa o ademe.

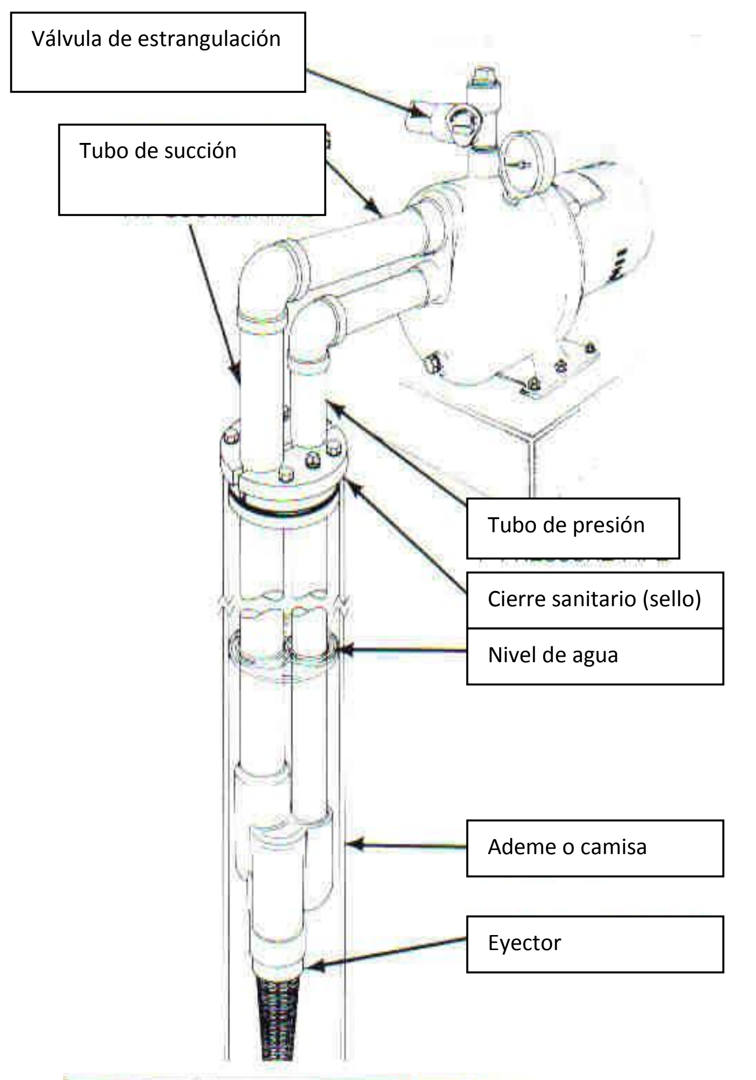
Para iniciar el funcionamiento se requiere que ambos tubos estén completamente llenos de agua, para lo cual se disponen de los mecanismos de retención necesarios y además debe existir una cierta contrapresión mínima en la descarga del agua para que parte de la misma se derive en la corriente secundaria imprescindible para el bombeo.

Se coloca a ese efecto una válvula de estrangulación de la corriente de descarga y un manómetro que permite una regulación fina de las condiciones de servicio.

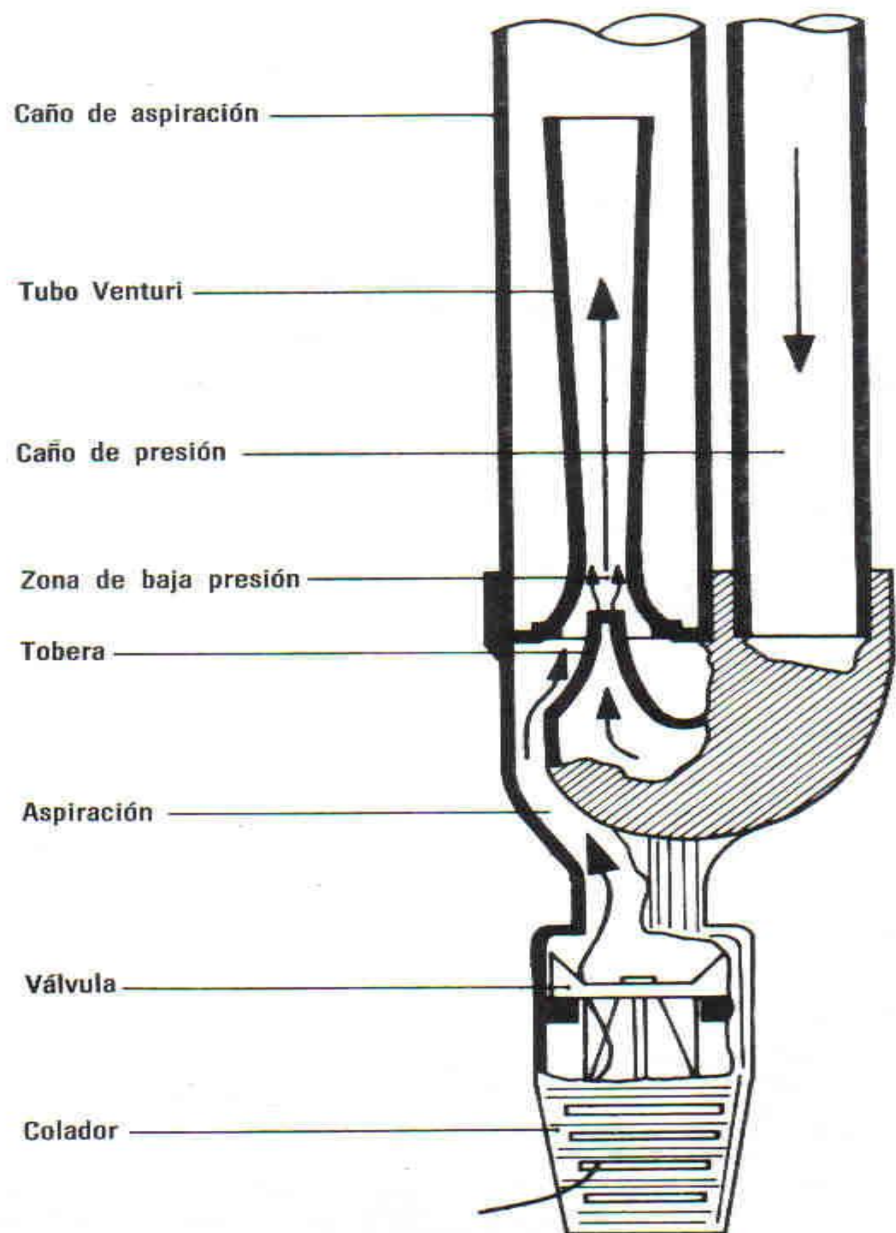
Es una bomba de buen rendimiento energético global (40 – 50% para profundidades de aspiración que no superen los 15 m) pero el mismo se traduce mayormente en la presión de descarga mínima que debe mantenerse y en consecuencia cuando la misma no es necesaria para la instalación que recibe el bombeo, el rendimiento cae apreciablemente.

Por otra parte cuando la aspiración debe hacerse desde niveles de 30 m en adelante los rendimientos descienden a valores inferiores al 15% con caudales pequeños en relación con las potencias empleadas.

La ventaja principal de este tipo de bomba radica en su sencillez mecánica ya que dentro del pozo no hay piezas en movimiento si se exceptúa la válvula de retención lo que redunda en un bajo costo de mantenimiento.



Instalación típica de una bomba de eyección. En este caso con doble caño (además del ademe o camisa). Obsérvese que la bomba centrífuga puede instalarse desplazada de la vertical del pozo.



DETALLE DEL EYECTOR

4.4 Bombas empleadas en la extracción de agua subterránea Bombas de eyección – de Chorro de agua – Jet Pump



185

Variables a tener en cuenta al seleccionar un tipo de bomba

Como ya se viera la elección de la bomba influye a menudo en el diseño del pozo. Para seleccionar uno de los tipos de bomba descriptos, deben tenerse en cuenta los siguientes factores:

- Caudal a extraer.
- Nivel dinámico de bombeo
- Elevación necesaria del agua sobre nivel del terreno o en su defecto presión de descarga.
- Energía disponible (electricidad, motor de explosión, etc.)
- Inversión inicial.
- Costo de la energía de accionamiento.
- Costo y disponibilidad de mantenimiento.

En el caso de existir la perforación, deberán considerarse además:

- Si posee tubo de camisa o ademe, diámetro, longitud y material.
- Existencia o no de filtro o rejilla. En caso de existir capacidad de diseño del mismo.

Teniendo en cuenta estos factores y la descripción de las ventajas e inconvenientes de los distintos tipos de bombas analizados, se plantea a continuación un cuadro con distintos casos que se presentan en la práctica y la elección recomendada de la bomba que se propone como más adecuada para cada uno de ellos.

Naturalmente se trata de recomendaciones de uso en base a casos habituales, estando sujetas a las condiciones de cada lugar y es probable que se encuentren situaciones que no encajan exactamente en las que se señalan.

CUADRO PARA SELECCIÓN DEL TIPO DE BOMBA A EMPLEAR

Bomba Tipo	Caudal m3/h	Nivel dinámico m	Elevación Sobre nivel m	Energía disponible	Inversión inicial	Mantenim.	Rendim. energético	Deterioro con arena
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
1	≤ 2	Limitado por la resistencia de los materiales	≤ 15	Cualquiera	Baja	Alto. Poco especializ.	Alto	Severo
2	≤ 5	Tal que la sumergencia sea la adecuada	Tal que la sumergencia sea la adecuada	Cualquiera	Baja	Bajo. Poco especializ.	Bajo	Muy bajo
3 Motor en superf.	≥ 2	Limitado por la resistencia de los materiales	Teóricamente cualquiera	Cualquiera	Alta	Medio. Especializ.	Alto	Severo
3 Motor sumerg.	≥ 2	Limitado por la resistencia de los materiales	Teóricamente cualquiera	Eléctrica	Media	Bajo. Especializ.	Muy alto	Muy severo
4	≤15	≤ 30	≤ 30	Cualquiera	Media	Bajo. Especializ.	Medio	Bajo

Referencias del cuadro:

(1) Tipos de bombas según la descripción anterior.
(2) Caudales dentro de los cuales su uso y adquisición son rentables y su uso resulta práctico.
(3) Relacionado con la aspiración de la bomba.
(4) Incluye la altura equivalente a las pérdidas de carga.
(5) Referido al tipo de energía de accionamiento disponible.
(6) Clasificado en relación con el tipo de bomba que alternativamente puede emplearse.
(7) Suponiendo un mismo tipo de agua en cuanto a la agresividad, incrustación, ausencia de arena, etc.
(8) Relacionado con el consumo de energía y el costo en el lugar.
(9) Referido al desgaste sufrido por la bomba cuando bombea agua con presencia de arena.

Problema : para el pozo diseñado en el problema de la página 81 , seleccionar el modelo de bomba sumergible y verificar que pueda ser instalada a la profundidad necesaria.

4.5 ESPECIFICACIONES TECNICAS

- Como pedir?: desde la necesidad y la conveniencia propia y del entorno.
- Que especificar?: aspectos mas significativos
- Como controlar?: encargar los trabajos a contratistas confiables. El precio suele ser engañoso.
- Garantías?; caudal, presencia de áridos, depresión, etc.
- Riesgo minero: pros y contras.
- Caudales
- Calidad del agua
- Materiales
- Electrobombas

4.5 GUIA PARA CONFECCIONAR LA ESPECIFICACION TECNICA PARA EL PEDIDO DE COTIZACION DE UN POZO.

La presente no es un listado taxativo sino una guía de los ítems que pueden especificarse para la construcción de un pozo y la provisión de la bomba, la obra a construir en la boca de pozo y los accesorios a colocar en la descarga de agua y la tubería de impulsión. No se especifican los datos propios de la construcción del pozo que deben ser propuestos por las empresas constructoras que coticen los trabajos.

No es de seguimiento obligatorio y pueden agregarse o quitarse datos según se estime conveniente y se cumpla con el objetivo de obtener presupuestos que permitan construir la captación deseada sin dar lugar a interpretaciones erróneas

por parte de los oferentes y tal que faciliten el posterior control de la ejecución y sus resultados.

1. **Objeto del pedido**: ej. Contratar la ejecución de …pozo (s) de explotación para….. indicar calidad del agua deseada, caudal requerido, altura o presión de descarga, etc.
2. **Ubicación**: el (los) pozo (s) se construirán en…. (en este caso sólo consignar el tipo de establecimiento al cuál van destinadas las obras)
3. **Descripción de los trabajos a realizar**:
   3.1 Pozo de reconocimiento:
   3.2 Perfilajes geofísicos
   3.3 Pozo de explotación
   3.4 Equipo de bombeo:
   3.5 Ensayos de bombeo
   3.6 Análisis de agua
4. **Descripción del pozo de reconocimiento** si lo hubiera
5. **Descripción de los perfilajes geofísicos** si los hubiera
6. **Pozo de explotación**:
   Metodología de trabajo: sistema de perforado, profundidad a alcanzar, forma de perforado de la arena del acuífero, etc.
   6.1 Entubados: material de los tubos, indicación de donde debe quedar el tubo camisa o ademe, indicación de la forma constructiva: telescópica, etc.
   6.2 Tareas para asegurar la aislación de acuíferos contaminados o que no deben aportar agua al pozo a construir.
   6.3 Filtro o rejilla: tipo de rejilla, material, indicaciones de donde debe quedar instalada la unidad filtrante, método que se va a emplear para la instalación, etc.
   6.4 Prefiltro de grava: material a emplear, cuidados en la colocación de la grava.
   6.5 Detalle de los cierres anulares que se ejecuten.
   6.6 Limpieza y desarrollo del pozo.
   6.7 Desinfección si se requiere.
7. **Ensayo de bombeo**: indicar parámetros que deberán determinarse y constar en los informes.
8. **Análisis de agua**: indicar cuales se harán y quienes lo harán.
9. **Equipo de bombeo**: indicar el tipo de bomba y algunas características principales tales como tensión eléctrica, caudal y AMT y su composición: bomba, motor, tubería de suspensión, sonda guardanivel, tablero eléctrico con implementos de arranque y protección del motor, etc.
10. **Garantías y responsabilidades:** definir los aspectos que debe garantir la empresa perforista y su grado de responsabilidad.

11. **Detallar las obras complementarias que se deben ejecutar:**
    11.1 Obras en boca de pozo: enumerar. Ver como se resuelve: toma de energía, acceso para mantenimiento, cercado de la boca de pozo, iluminación, señalización, etc.
    11.2 Cámara o arqueta si la hay: dimensiones, materiales, tapas, etc.
    11.3 Accesorios a proveer y colocar para regulación y control.
    11.4 Tubería de impulsión: longitud, material, diámetro y forma de instalación.
12. **Documentación a entregar:** por la empresa oferente con la cotización y por la que resulte adjudicataria de los trabajos al concluir con los mismos. Detallar.
13. **Planilla de precios**: elaborar una Planilla de Cómputo y Presupuesto, con la apertura de los ítems más importantes, su cantidad (indicar Gl= global cuando es un conjunto o la cantidad y la unidad respectiva cuando se conocen), su precio unitario y su precio total.
14. **Cumplimiento de Leyes y Reglamentos**: aclarar que se deberá cumplir con la normativa vigente, tanto en lo que se refiere a los aspectos hidrogeológicos y de ingeniería, que establece la autoridad de control como los establecidos en los Códigos de Edificación y de distancia a líneas de energía, gas, etc., y los cuidados de las instalaciones preexistentes visibles y no visibles, así como los de Higiene y Seguridad de las personas tanto de las involucradas en los trabajos como del personal de la Contratante o Comitente y de terceros.

GENERALIDADES

- Emplear siempre que sea posible, electrobombas sumergibles.
- Las especificaciones pueden definir los diámetros de las tuberías a emplear, así como de las rejillas o filtros o bien dejar en mano de la empresa contratista, la propuesta de los mismos, pero se debe solicitar que justifique en la oferta su elección.
- Sólo para información: además de estas especificaciones técnicas, cuando en la práctica profesional, se deba realizar un pedido de precio deben especificarse: plazo de entrega, forma de pago, inclusión de impuestos, seguros contra accidentes, pago de derechos o tasas que pueda exigir la autoridad de control, gastos demandados por los profesionales que deban intervenir, en concepto de honorarios y actuación de los Colegios Profesionales, etc.

4.6 GUIA PARA EL CONTROL DE LA CONSTRUCCIÓN DE POZOS PARA AGUA

Los recaudos para asegurar una buena construcción deben ser como mínimo:

La redacción de un pedido de precio con indicaciones claras y precisas. En su caso si la importancia del o los pozos lo amerita, efectuar una tarea de relevamiento geofísico previa.
La elección como contratista de una empresa con antecedentes comprobados, que posea experiencia y el equipamiento necesario.

La entrega por parte de la contratista de detalles pormenorizados de los entubados y filtro o rejilla, diámetros y longitudes previstos. Pedir un esquema con el corte del pozo proyectado.
El seguimiento del avance de los trabajos con presencia diaria del profesional que represente al Comitente que encarga la construcción del pozo.
Controlar los materiales; tuberías y filtros o cribas que se van a emplear. Diámetros, longitudes y materiales.

Partiendo del hecho de no ser un especialista en la materia, preguntar por los detalles de los aspectos que se consideraron como importantes y analizarlos a la luz de las explicaciones arriba detalladas: profundidades, cementaciones

Solicitar un informe completo y detallado, con esquemas de entubados y perfil litológico, del pozo construido y compararlo con los del pozo proyectado.

En caso de dudas o cuando se deban construir varias perforaciones importantes por su caudal y/o por el uso que se le vaya a dar al agua, contratar una dirección de obra específica y experimentada.
Realizar los ensayos de bombeo antes de la Recepción de los trabajos, comprobando, como mínimo el caudal y el nivel dinámico respectivo.

Hacer análisis del agua: con las determinaciones de bacteriología y físico químico que interesen para el uso a que se va a destinar el agua.

ANEXOS

1. GLOSARIO

- **Agua subterránea**: es el agua contenida en la zona de saturación.
- **Acuicluso:** formación de terreno que almacena pero no transmite agua en razón de su muy baja permeabilidad.
- **Acuífero:** formación geológica de la cuál puede extraerse agua de manera económicamente factible.
- **Acuífugo:** formación del terreno que no posee porosidad y en consecuencia no almacena ni transmite agua.
- **Acuitardo**: formación de terreno que almacena y transmite agua con dificultad en virtud de su baja permeabilidad.
- **Arcilla:** Roca formada por cuarzo y minerales arcillosos, carece de brillo y es pegajosa. Se hincha al absorber agua y se hace plástica. Proviene de silicatos primarios contenidos en las rocas (micas, feldespastos, piroxenos, anfiboles, etc.) que por oxidación, desilicificación parcial, acumulación de agua, pérdidas de bases y la presencia conjunta de las partes residuales, que se convierten en minerales arcillosos secundarios. Existen arcillas micáceas, montmorillomitas y caolinitas. Contienen además aluminio, hierro, oxígeno, magnesio y calcio. Son sedimentos de origen marino y límnico (de lagos o lagunas). **Greda:** es un arcilla arenosa.
- **Arena:** roca suelta compuesta de granos minerales de 0,05 a 2 mm de diámetro (fina de 0,05 a 0,2 mm y gruesa de 0,2 a 2 mm), proviene de la meteorización de rocas y la selección del material por agentes móviles. Está coloreada de amarillo o marrón por la presencia de hidróxido de hierro. Consta esencialmente de elementos silícicos y otros minerales intensamente meteorizados. Gravas arenas muy gruesas de 2 mm en mas.
- **Arenisca:** roca sedimentaria permeable proveniente de la cementación de la arena. Su dureza y color dependen del elemento que las cohesiona.
- **Artesiana/o**: referido a agua subterránea o a un acuífero: sometido a mayor presión que la atmosférica.
- **Cementación:** trabazón sólida de fragmentos clásticos sueltos mediante un cemento o masa pétrea, generalmente arcillosa, ferruginosa, calcárea o silícica, que une los elementos alógenos de las rocas clásticas, tales como areniscas, conglomerados, etc.
- **Clásticos:** Dicho de algunos materiales geológicos: que están formados por fragmentos de diferentes rocas.

- **Margas:** arcillas calcáreas con un contenido de carbonato de calcio igual o mayor del 15%.
- **Encamisado, entubado, ademe o revestimiento**: tubería que constituye la pared activa de la perforación y tiene por finalidad estabilizar el suelo evitando que su derrumbe cierre la luz del pozo y aislar de aguas contaminadas o que posean inferior calidad o temperatura, a aquella que se desea extraer.
- **Engravado:** construcción del empaque o macizo de grava que en ciertas perforaciones rodea al filtro o rejilla.
- **Filtro, rejilla, cedazo o criba**: estructura de forma tubular cuya superficie externa presenta aberturas que permiten el paso del agua a la par que estabiliza la formación del acuífero evitando por sí o por interposición de material de mayor granulometría, el ingreso de los constituyentes mas finos (generalmente áridos) arrastrados por el agua que se extrae del pozo.
- **Limo:** arcilla muy fina con alguna cantidad de cuarzo(en grano o en polvo), a veces con carbonato de calcio, hojuelas de mica o impurezas, la limonita entre éstos ultimos le da un color amarillento. Depósito típico de lechos fluviales, fondo de lagos y mares. Sinónimo: barro, cieno, fango, lemo, etc. Algunos autores llaman limo a la transición de arena a arcilla.
- **Loes:** limo formado por el sedimento arrastrado por el viento. Deleznable y amarillento. Tiene un 60 a 70% de cuarzo.
- **Meteorización:** destrucción de las rocas por fuerzas exógenas
- **Porta filtro o tubería de acompañamiento del filtro:** sección de tubería conectada directamente al filtro o rejilla cuyo extremo superior se conecta rígidamente o mediante un sello, al entubado
- **Pozo, sondeo, captación o perforación:** construcción destinada a extraer agua de un acuífero.
- **Sello o cierre (packer):** anillo de cierre o sellado, que se efectúa entre el extremo superior del porta filtro y el encamisado o ademe del pozo a fin de impedir el ingreso de materiales finos que pueda arrastrar el agua.
- **Tosca:** piedra caliza muy porosa y ligera.**Tubo depósito (caño cola):** sección de tubería que se coloca en la parte inferior del filtro o rejilla a fin de constituir una zona de sedimentación y/o depósito de material o eventualmente algún constituyente de las herramientas que pueda caer al interior del pozo. Accesoriamente permite fijar sobre guías, pernos internos, etc. que facilitan las tareas de instalación del filtro.

2.VALORES DE LA FUNCIÓN POZO

Valores de Wu para la fórmula de no equilibrio

u = / N	N×10-15	N×10-14	N×10-13	N×10-12	N×10-11	N×10-10	N×10-9	N×10-8	N×10-7	N×10-6	N×10-5	N×10-4	N×10-3	N×10-2	N×10-1	N
1.0	33.9616	31.6590	29.3564	27.0538	24.7512	22.4486	20.1460	17.8435	15.5409	13.2363	10.9357	8.6332	6.3315	4.4379	1.8229	0.2194
1.1	33.8662	31.5637	29.2611	26.9585	24.6559	22.3533	20.0507	17.7482	15.4456	13.1430	10.8404	8.5379	6.2303	3.9436	1.7371	.1860
1.2	33.7792	31.4767	29.1741	26.8715	24.5639	22.2663	19.9637	17.6611	15.3580	13.0560	10.7534	8.4508	6.1494	3.8576	1.6595	.1584
1.3	33.6902	31.3966	29.0940	26.7914	24.4889	22.1863	19.8837	17.5811	15.2785	12.9759	10.6734	8.3709	6.0695	3.7785	1.5689	.1355
1.4	33.6251	31.3225	29.0199	26.7173	24.4147	22.1122	19.8096	17.5070	15.2044	12.9018	10.5993	8.2968	5.9955	3.7054	1.5241	.1162
1.5	33.5561	31.2535	28.9509	26.6483	24.3458	22.0432	19.7406	17.4380	15.1354	12.8328	10.5303	8.2278	5.9206	3.6374	1.4645	.1000
1.6	33.4916	31.1880	28.8864	26.5838	24.2812	21.9786	19.6760	17.3735	15.0709	12.7683	10.4657	8.1634	5.8621	3.5730	1.4092	.08631
1.7	33.4309	31.1283	28.8258	26.5232	24.2206	21.9180	19.6154	17.3128	15.0103	12.7077	10.4051	8.1027	5.8016	3.5143	1.3578	.07465
1.8	33.3738	31.0712	28.7686	26.4660	24.1634	21.8608	19.5583	17.2557	14.9531	12.6505	10.3479	8.0455	5.7446	3.4561	1.3098	.06471
1.9	33.3197	31.0171	28.7145	26.4119	24.1004	21.8068	19.5042	17.2016	14.8990	12.5664	10.2939	7.9915	5.6906	3.4050	1.2649	.05620
2.0	33.2684	30.9658	28.6632	26.3607	24.0581	21.7555	19.4529	17.1503	14.8477	12.5451	10.2428	7.9402	5.6394	3.3547	1.2227	.04890
2.1	33.2196	30.9170	28.6145	26.3119	24.0093	21.7067	19.4041	17.1015	14.7986	12.4984	10.1938	7.8914	5.5907	3.3069	1.1829	.04261
2.2	33.1731	30.8703	28.5679	26.2653	23.9628	21.6602	19.3576	17.0550	14.7524	12.4498	10.1473	7.8449	5.5443	3.2614	1.1454	.03710
2.3	33.1286	30.8261	28.5285	26.2209	23.9183	21.6157	19.3131	17.0106	14.7060	12.4054	10.1028	7.8004	5.4999	3.2179	1.1099	.03250
2.4	33.0861	30.7835	28.4809	26.1783	23.8758	21.5732	19.2706	16.9680	14.6654	12.3628	10.0603	7.7579	5.4575	3.1763	1.0762	.02814
2.5	33.0453	30.7427	28.4401	26.1375	23.8340	21.5323	19.2298	16.9272	14.6246	12.3220	10.0194	7.7172	5.4167	3.1365	1.0443	.02491
2.6	33.0060	30.7035	28.4009	26.0983	23.7957	21.4931	19.1905	16.8880	14.5954	12.2828	9.9802	7.6779	5.3776	3.0983	1.0139	.02185
2.7	32.9683	30.6657	28.3631	26.0606	23.7589	21.4554	19.1528	16.8502	14.5476	12.2450	9.9425	7.6401	5.3400	3.0613	.9640	.01918
2.8	32.9391	30.6294	28.3268	26.0242	23.7216	21.4190	19.1104	16.8138	14.5113	12.2087	9.9061	7.6038	5.3037	3.0261	.9573	.01696
2.9	32.8968	30.5943	28.2917	25.9691	23.6965	21.3830	19.0813	16.7788	14.4762	12.1736	9.8710	7.5687	5.2687	2.9920	.9309	.01482
3.0	32.8629	30.5604	28.2578	25.9552	23.6820	21.3500	19.0474	16.7449	14.4423	12.1397	8.8371	7.5348	5.2349	2.9591	.9057	.01305
3.1	32.8302	30.5276	28.2250	25.9224	23.6198	21.3172	19.0146	16.7121	14.4095	12.1069	9.8043	7.5020	5.2022	2.9273	.8615	.01140
3.2	32.7984	30.4954	28.1932	25.8907	23.5881	21.2855	18.9829	16.6603	14.3777	12.0751	9.7726	7.4703	5.1706	2.8966	.8583	.01013
3.3	32.7676	30.4651	28.1625	25.8598	23.5573	21.2547	18.9521	16.6405	14.3470	12.0444	9.7418	7.4395	5.1390	2.8668	.8361	.006939
3.4	32.7378	30.4352	28.1326	25.8300	23.5274	21.2240	18.9223	16.6197	14.3171	12.0145	9.7120	7.4097	5.1102	2.8379	.8147	.007894
3.5	32.7088	30.4062	28.1036	25.8010	23.4985	21.1959	18.8933	16.5997	14.2961	11.9855	9.6830	7.3807	5.0813	2.8090	.7942	.008870
3.6	32.6896	30.2780	27.0755	25.7729	23.4703	21.1677	18.8651	16.5625	14.2509	11.9574	9.6548	7.3526	5.0532	2.7827	.7745	.006100
3.7	32.6532	30.3506	28.0481	25.7455	23.4428	21.1403	18.8877	16.5351	14.2325	11.9309	9.6274	7.3252	5.0250	2.7563	.7554	.005446
3.8	32.6266	30.3240	28.0214	25.7188	23.4162	21.1136	18.8110	16.5085	14.2050	11.9032	9.6007	7.2985	4.9993	2.7306	.7371	.004820
3.9	32.6006	30.2980	27.9954	25.6928	23.3902	21.0877	18.7851	16.4825	14.1799	11.8773	9.5748	7.2725	4.9735	2.7056	.7194	.004267
4.0	32.5753	30.2727	27.9701	25.6675	23.3649	21.0423	18.7508	16.4572	14.1546	11.8520	9.5495	7.2472	4.9482	2.6813	7024	.003770
4.1	32.5506	30.2480	27.9454	25.6428	23.3402	21.0376	18.7351	16.4325	14.1290	11.8273	9.5248	7.2225	4.9236	2.6576	.6859	.003840
4.2	32.5265	30.2239	27.9213	25.6187	23.3101	21.0136	18.7110	16.4284	14.1058	11.8032	9.5007	7.1965	4.8997	2.6344	.6700	.002960
4.3	32.5029	30.2004	27.8978	25.5952	23.2926	20.9960	18.6074	16.3848	14.0623	11.7797	9.4771	7.1740	4.8762	2.6119	.6546	.002633
4.4	32.4800	30.1774	27.8748	25.5722	23.3886	20.9670	18.6644	16.3619	14.0583	11.7567	9.4541	7.1520	4.8533	2.5899	.6397	.002336
4.5	32.4575	30.1549	27.8523	25.5497	23.2471	20.9446	18.6428	16.3394	14.0368	11.7342	9.4117	7.1205	4.8310	2.5684	.6253	.002073
4.6	32.4355	30.1329	27.8393	25.5277	23.2252	20.9226	18.6200	16.3174	14.0148	11.7122	9.4097	7.1075	4.8091	2.5474	.6114	.001841
4.7	32.4140	30.1114	27.8088	25.5062	23.2037	20.9011	18.5885	16.2859	13.9933	11.6697	9.3882	7.0860	4.7877	2.5268	.5979	.001625
4.8	32.3929	30.0904	27.7878	25.4652	23.1826	20.8990	18.5774	16.2749	13.9723	11.6507	9.3671	7.0660	4.7667	2.5006	.5848	.001452
4.9	32.3723	30.0697	27.7672	25.4546	23.1620	20.8894	18.5608	16.2542	13.9516	11.6401	9.3465	7.0444	4.7462	2.4871	.5721	.001291
5.0	32.3521	30.0495	27.7470	25.4444	23.1418	20.8392	18.5306	16.2340	13.9314	11.6209	9.3263	7.0242	4.7261	2.4670	.5596	.001146
5.1	32.3323	30.0297	27.7271	25.4246	23.1229	20.8194	18.5168	16.2142	13.9116	11.6091	9.3065	7.0044	4.7064	2.4401	.5478	.001021
5.2	32.3129	30.0103	27.7077	25.4051	23.1026	20.8809	18.4874	16.1948	13.8822	11.5896	9.2871	6.2859	4.6871	2.4286	.5362	.0009666
5.3	32.2939	29.9913	27.6887	25.3961	23.0836	20.7809	18.4762	16.1739	13.8732	11.5706	9.2631	6.9659	4.6681	2.4136	.5239	.0008096
5.4	32.2752	29.9726	27.6799	25.3674	23.0648	20.7622	18.4596	16.1571	13.8545	11.5519	9.2494	6.9473	4.6495	2.3948	.5140	.0007198
5.5	32.2568	29.9542	27.6516	25.3491	23.0465	20.7439	18.4413	16.1387	13.8361	11.5338	9.2310	6.9230	4.6313	2.3776	.5034	.0006409
5.6	32.2386	29.9362	27.6336	25.3310	23.0285	20.7230	18.4232	16.1207	13.8181	11.5155	9.2130	6.9198	4.6134	2.3694	.4920	.0005706
5.7	32.2211	29.9185	27.6150	25.3133	23.0108	20.7082	18.4056	16.1030	13.8004	11.4978	9.1953	6.8932	4.5956	2.3437	.4830	.0005065
5.8	32.2037	29.9011	27.5965	25.2959	22.9934	20.6908	18.3862	16.0836	13.7830	11.4804	9.1779	6.8758	4.5785	2.3373	.4732	.0004532
5.9	32.1966	29.8840	27.5814	25.2780	22.9763	20.6737	18.3711	16.0693	13.7639	11.4633	9.1608	6.8588	4.5615	2.3111	.4637	.0004029
6.0	32.1608	29.8672	27.5646	25.2690	22.9505	20.6569	18.3543	16.0517	13.7491	11.4465	9.1440	6.8420	4.5448	2.2953	.4544	.0003601
6.1	32.1533	29.8507	27.5481	25.2455	22.9429	20.6403	18.3378	16.0352	13.7326	11.4300	9.1275	6.8254	4.5288	2.2797	.4454	.0003211
6.2	32.1370	29.8344	27.5316	25.2293	22.9267	20.6341	18.3215	16.0190	13.7163	11.4138	9.1112	6.8002	4.5122	2.2645	.4366	.0002864
6.3	32.1210	29.8184	27.5158	25.2133	22.9107	20.0081	18.3055	16.0029	13.7003	11.3978	9.0952	6.7932	4.4963	2.2494	.4280	.0002555
6.4	32.1053	29.8027	27.5001	25.1975	22.9040	20.5923	18.2882	15.9872	13.6846	11.3820	9.0795	6.7775	4.4696	2.2348	.4197	.0002270
6.5	32.0808	29.7872	27.4846	25.1820	22.8794	20.5786	18.2742	15.9117	13.6661	11.3665	9.0649	6.7620	4.4662	2.2301	.4115	.0002034
6.6	32.0745	29.7710	27.4693	25.1667	22.8641	20.5616	18.2590	15.9564	13.6538	11.3512	9.0487	6.7467	4.4501	2.2058	.4038	.0001816
6.7	32.0595	29.7569	27.4543	25.1517	22.8491	20.5405	18.2439	15.9414	13.6388	11.3362	9.0337	6.7317	4.4351	2.1917	.3959	.0001621
6.8	32.0446	29.7421	27.4395	25.1309	22.8243	20.5317	18.2291	15.9265	13.6240	11.3214	9.0189	6.7189	4.4204	2.1719	.3883	.0001448
6.9	32.0300	29.7275	27.4249	25.1223	22.8197	20.5171	18.2145	15.9119	13.6094	11.3066	9.0013	6.7098	4.4050	2.1643	.3810	.0001283
7.0	32.0156	29.7131	27.4105	25.1079	22.8098	20.5027	18.2001	15.8976	13.5950	11.2934	8.9909	6.6879	4.3816	2.1508	.3736	.0001155
7.1	32.0015	29.6989	27.3963	25.0927	22.7911	20.4885	18.1860	15.8814	13.5808	11.2782	8.9757	6.6737	4.3775	2.1376	.3608	.0001032
7.2	31.9875	29.6840	27.3823	25.0797	22.7771	20.4746	18.1720	15.8684	13.5668	11.2642	8.9617	6.6598	4.3636	2.1248	.3599	.00009210
7.3	31.9737	29.6711	27.3665	25.0689	22.7633	20.4608	18.1592	15.8696	13.5530	11.2504	8.9479	6.6480	4.3590	2.1118	.3532	.00008230
7.4	31.9601	29.6575	27.3549	25.0523	22.7497	20.4472	18.1446	15.8420	13.5394	11.2368	8.9343	6.6294	4.3364	2.0901	.3467	.00007364
7.5	31.9467	29.6441	27.3415	25.0389	22.7363	20.4337	18.1311	15.8286	13.5260	11.2234	8.9200	6.6198	4.3231	2.0867	.3403	.00006583
7.6	31.9334	29.6308	27.3282	25.0357	22.7231	20.4205	18.1179	15.8153	13.5127	11.2102	8.9076	6.6057	4.3100	2.0744	.3341	.00005806
7.7	31.9203	29.6178	27.3152	25.0126	22.7100	20.4074	18.1048	15.8022	13.4997	11.1971	8.8946	6.5927	4.2970	2.0623	.3290	.00005268
7.8	31.9074	29.6048	27.3023	24.9897	22.6971	20.3945	18.0919	15.7898	13.4868	11.1842	8.8817	6.5798	4.2842	2.0503	.3221	.00004767
7.9	31.8047	29.5921	27.2895	24.9869	22.6844	20.3818	18.0792	15.7768	13.4740	11.1714	8.8639	6.5671	4.2716	2.0386	.3163	.00004210
8.0	31.8621	29.5795	27.2769	24.9744	22.6718	20.3692	18.0666	15.7640	13.4614	11.1589	8.8569	6.5545	4.2681	2.0280	.3106	.00003767
8.1	31.8697	29.5671	27.2645	24.9610	22.6594	20.3568	18.0542	15.7516	13.4400	11.1464	8.8430	6.5421	4.2638	2.0155	.3059	.00003370
8.2	31.8574	29.5548	27.2523	24.9497	22.6471	20.3445	18.0419	15.7393	13.4367	11.1342	8.8317	6.5298	4.2546	2.0042	.2996	.00003015
8.3	31.8453	29.5427	27.2401	24.9375	22.6380	20.3324	18.0298	15.7272	13.4246	11.1220	8.8195	6.5177	4.2235	1.9860	.2943	.00002609
8.4	31.8333	29.5307	27.2282	24.9258	22.6230	20.3204	18.0178	15.7152	13.4126	11.1101	8.8076	6.5057	4.2107	1.9820	.2891	.00002415
8.5	31.8215	29.5189	27.2163	24.9137	22.6112	20.3086	18.0060	15.7034	13.7006	11.0982	8.7957	6.4938	4.1990	1.9711	.2840	.00002162
8.6	31.8098	29.5072	27.2046	24.9020	22.5995	20.2962	17.9943	15.0617	13.3991	11.0865	8.7840	6.4822	4.1874	1.9624	.2790	.00001036
8.7	31.7962	29.4957	27.1981	24.8905	22.5870	20.2853	17.9827	15.6801	13.3776	11.0750	8.7725	6.4707	4.1759	1.9408	.2742	.00001733
8.8	31.7908	29.4842	27.1816	24.8760	22.5865	20.2739	17.9713	15.6687	13.3661	11.0635	8.7610	6.4592	4.1645	1.9303	.2804	.00001552
8.9	31.7755	29.4729	27.1703	24.8678	22.5652	20.2626	17.9600	15.6574	13.3548	11.0523	8.7407	6.4480	4.1534	1.9290	.2647	.00001390
9.0	31.7643	29.4618	27.1592	24.8586	22.5540	20.2514	17.9488	15.6462	13.3437	11.0411	8.7394	6.4388	4.1423	1.9157	.2602	.00001245
9.1	31.7533	29.4507	27.1481	24.8553	22.5409	20.2404	17.9378	15.6352	13.3326	11.0300	8.7275	6.4258	4.1313	1.9187	.2557	.00001115
9.2	31.7424	29.4398	27.1372	24.8346	22.5320	20.2324	17.9266	15.6213	13.3217	11.0191	8.7168	6.4148	4.1205	1.8987	.2513	[illegible]
9.3	31.7315	29.4290	27.1264	24.8238	22.5212	20.2186	17.9160	15.6135	13.3109	11.0083	8.7083	6.4040	4.1096	1.8868	.2470	[illegible]
9.4	31.7206	29.4183	27.1157	24.8131	22.5105	20.2186	17.9053	15.6028	13.3002	10.9976	8.6951	6.3934	4.0992	1.8791	.2420	[illegible]
9.5	31.7103	29.4077	27.1051	24.8025	22.4980	20.1973	17.8946	15.5922	13.2898	10.9870	8.6845	6.3828	4.0867	1.8695	.2387	[illegible]
9.6	31.6908	29.3972	27.0946	24.7920	22.4895	20.1839	17.8844	15.7817	13.2791	10.9765	8.6740	6.3723	4.0794	1.8600	.2347	[illegible]
9.7	31.6894	29.3868	27.0848	24.7817	22.4791	20.1765	17.8739	15.5713	13.2688	10.9662	8.6637	6.3628	4.0681	1.8505	.2308	[illegible]
9.8	31.6792	29.3760	27.0740	24.7714	22.4683	20.1663	17.8637	15.5611	13.2585	10.9550	8.6534	6.3517	4.0570	1.8412	[illegible]	[illegible]
9.9	31.6690	29.3674	27.0630	24.7613	22.4587	20.1361	17.8535	15.5560	13.2183	10.9458	8.6433	6.3416	4.0479	[illegible]	[illegible]	[illegible]

2. BIBLIOGRAFIA

1. Apuntes editados por el Dpto. de Geología de la Universidad de Salamanca (España) – F. Javier Sánchez San Román.
2. Auge, M y Fernández, M. Hidrología de Grandes Llanuras. Características geohidrológicas de un acuífero semiconfinado (puelche). 1983.
3. Augé, Miguel. Hidrogeología Ambiental I. Departamento Ciencias Geológicas. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales – UBA 2004.
4. Bellino, Norberto O. Perforaciones para Agua. Revista Agua N°10 - 1977.
5. Bellino, Norberto O. El Agua Subterránea. Boletín Centro Argentino de Ingenieros N°350 – 1983.
6. Bellino, Norberto O., El Problema de los Nitratos en Agua Potable. Ponencia en el 1° Congreso de Saneamiento Universidad de La Matanza. 2002.
7. Bellino, Norberto O., Equipos de Bombeo Utilizados en Perforaciones. Revista Agua N°16 -1978
8. Bellino, Norberto O. Gestión de agua en el ámbito urbano: para volver a confiar en el agua subterránea. Revista Ingeniería Sanitaria y Ambiental N°98 - 2008
9. Camdessus, Badré, Chéret, Téniere-Buchot. Agua para Todos. Fondo de Cultura Económica. 2006.
10. De la Vega, Julio. Estudio para el Abastecimiento de Agua para Hurlingham. Pcia. de Bs.As. 2007
11. Castagnino, Walter. Manual de Aguas Subterráneas. Curso corto intensivo sobre aguas subterráneas F.I.U.B.A. Impreso por Obras Sanitarias de la Nación. 1965
12. Fuchslocher – Schulz, Bombas. Editorial Labor. 1964
13. Focke, Rodolfo. Bombas Rotativas. Ediciones Librería del Colegio.
14. Grulli, Tore, Aguirre, Moya. Cuidado con el nitrato - Revista Vertiente, No.5, Octubre 2000, editada por el capítulo chileno de la Asociación Latinoamericana de Hidrología Subterránea para el Desarrollo (ALHSUD)
15. Johnson Division, UOP Inc. El Agua Subterránea y los Pozos. 1975.
16. Instituto de Ingeniería Sanitaria. F.I.U.B.A. Abastecimientos de Agua Potable a Comunidades Rurales. Autores varios. 1973
17. Pimienta, Jean. La Captación de Aguas Subterráneas. Editores Técnicos Asociados. 1973.
18. Instituto de Ingeniería Sanitaria. F.I.U.B.A. El Problema Sanitario de las Aguas Destinadas a la Bebida Humana, con Contenidos Elevados de Arsénico, Vanadio y Flúor. Trelles, Rogelio; Larghi, Américo: Páez Julio. 1970.
19. Antón, Danilo. Ciudades Sedientas. Agua y ambientes urbanos en América Latina. Ediciones UNESCO. 1996.
20. Diccionario Rioduero de Geología y Mineralogía (por Jorge Sagredo de la edición original alemana Herder Lexikon Geologie und Mineralogie, Verlag Herder KG.1972)